

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-175607

(P2002-175607A)

(43) 公開日 平成14年6月21日 (2002.6.21)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

テームコード(参考)

G 1 1 B 5/31

G 1 1 B 5/31

E 4 K 0 2 4

C 2 5 D 5/02

C 2 5 D 5/02

B 5 D 0 3 3

5/12

5/12

5/18

5/18

7/00

7/00

G

審査請求 未請求 請求項の数11 OL (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2000-372853(P2000-372853)

(22) 出願日

平成12年12月7日(2000.12.7)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 金田 吉弘

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72) 発明者 矢澤 久幸

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74) 代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫

最終頁に続く

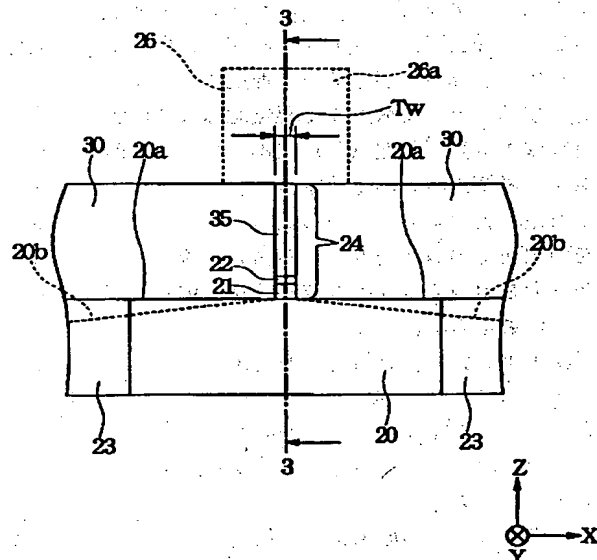
(54) 【発明の名称】 磁気記録素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来の磁気記録素子では、ギャップ層としてNiPを使用し、これを直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成していたが、この場合、界面付近での元素P含有量が低下し、前記ギャップ層の耐食性及び非磁性化を促進させることができなかった。

【解決手段】 ギャップ層22を形成するためにNiPなどを用い、このときパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成する。これにより前記ギャップ層22の界面付近でのNiのエピタキシャル成長による結晶化を抑制することができる。したがって前記界面付近に元素Pなどの非磁性元素を多く取り込むことができ、前記界面付近をアモルファス状態にして耐食性を向上させることができる。

図1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 下部コア層と、前記下部コア層上に、直接に又は下部磁極層を介して形成されたギャップ層と、前記ギャップ層上に、直接に又はトラック幅を決める上部磁極層を介して形成される上部コア層とを有する磁気記録素子において、

前記ギャップ層は、NiPによってメッキ形成されており、前記下部磁極層あるいは前記下部コア層との界面から10nmまでの膜厚内の元素Pの含有量が、8質量%以上で15質量%以下であることを特徴とする磁気記録素子。

【請求項2】 前記界面から40nmまでの膜厚内の元素Pの含有量が、8質量%以上で15質量%以下である請求項1記載の磁気記録素子。

【請求項3】 前記元素Pの含有量は、10質量%以上で15質量%以下である請求項1または2に記載の磁気記録素子。

【請求項4】 前記元素Pの含有量は、11質量%以上で15質量%以下である請求項1または2に記載の磁気記録素子。

【請求項5】 前記ギャップ層の膜厚全体の平均した元素Pの含有量は、11質量%以上で15質量%以下である請求項1ないし4のいずれかに記載の磁気記録素子。

【請求項6】 磁性材料製の下部コア層と、記録媒体との対向面で前記下部コア層の上にギャップ層を介して対向する磁性材料製の上部コア層とを有する、磁気記録素子の製造方法において、

(a) 前記下部コア層をメッキ形成する工程と、

(b) 前記下部コア層上に直接、または前記下部コア層上に下部磁極層をメッキ形成した後この下部磁極層上に、Niを主成分とした非磁性のギャップ層をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成する工程と、

(c) 前記ギャップ層上に直接、または上部磁極層を介して、上部コア層をメッキ形成する工程と、を有することを特徴とする磁気記録素子の製造方法。

【請求項7】 前記(b)工程において、前記ギャップ層を、最初に所定の電流密度を有するパルス電流を用いて所定の膜厚までメッキ形成した後、残りのギャップ層を前記所定の電流密度よりも高い電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成する請求項6記載の磁気記録素子の製造方法。

【請求項8】 前記所定の電流密度を、 $1.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上で $3.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下とし、この電流密度を有するパルス電流を用いて前記ギャップ層を最初の10nmの膜厚までメッキ形成する請求項7記載の磁気記録素子の製造方法。

【請求項9】 前記ギャップ層を最初の40nmの膜厚までメッキ形成する請求項8記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項10】 前記残りのギャップ層を、 $8.5\text{mA}$

$/\text{cm}^2$ 以上で $11.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下の電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成する請求項7ないし9のいずれかに記載の磁気記録素子の製造方法。

【請求項11】 前記ギャップ層をNi-P、Ni-W、Ni-P-Mo、およびNi-P-Wのいずれか一種でメッキ形成する請求項6ないし10のいずれかに記載の磁気記録素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばハードディスク装置などに装備される磁気記録素子に係り、特にギャップ層の下部磁極層（あるいは下部コア層）との界面付近での耐食性及び平滑性を向上させることができ、また非磁性化を促進できる薄膜磁気ヘッド及びその製造方法に関する磁気記録素子およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】図14は、従来における磁気記録素子（薄膜磁気ヘッド）の構造を示す部分正面図である。

【0003】図14に示す符号1は、パーマロイなどの磁性材料で形成された下部コア層であり、この下部コア層1の上に、絶縁層9が形成されている。

【0004】前記絶縁層9には、記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）にかけて、内幅寸法がトラック幅Twで形成された溝部9aが形成されている。

【0005】この溝部9a内には、下から順に、下部コア層1に磁気的に接続する下部磁極層2、ギャップ層4、及び上部コア層6に磁気的に接続する上部磁極層5がメッキ形成されている。さらに、前記上部磁極層5上に上部コア層6がメッキ形成されている。

【0006】また、絶縁層9に形成された溝部9aよりもハイト方向（図示Y方向）における前記絶縁層9の上には、螺旋状にパターン形成されたコイル層（図示せず）が設けられている。

【0007】図14に示すインダクティブヘッドでは、前記コイル層に記録電流が与えられると、下部コア層1及び上部コア層6に記録磁界が誘導され、下部コア層1と磁気的に接続する下部磁極層2及び上部コア層6と磁気的に接続する上部磁極層5間からの洩れ磁界により、ハードディスクなどの記録媒体に磁気信号が記録される。

【0008】ところで前記ギャップ層4は、メッキ形成可能な例えばNiPで形成される。従来では前記NiP膜を直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成していた。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら直流電流を用いた電気メッキ法により前記NiP膜を前記下部磁極層2との界面からメッキ成長させると、特に前記界面付近での元素Pの含有量は非常に小さくなることがわかった。例えば前記界面から2.5nm程度の膜厚内では

前記元素Pの含有量は8質量%よりも小さくなることが後述の実験結果でわかった。

【0010】直流電流を用いて電気メッキすると、メッキ形成時のNi-P膜に対する電流密度の分布に偏りが発生し、あるメッキ面に電流が集中的に且つ継続して流れる。そして、このような電流分布の偏りは、結晶性の下部磁極層2と格子整合性を図りやすい元素Niがエピタキシャル的に成長していき、結晶化することで、前記界面付近での元素Pの含有量は極端に小さくなるものと考えられる。また上記したNiのエピタキシャル成長により、前記界面での面粗れがひどくなる。

【0011】上記のように前記界面付近での元素Pの含有量が極端に小さく、また面粗れが発生したNi-P膜は耐食性が低下し、中性からアルカリ領域の水溶液に弱いので、スライダ製造の洗浄工程などで使用される洗浄液に侵食されやすく、図15（模式図）に示すように前記Ni-P膜に亀裂が入るなどの不具合が発生した。これによってオーバーライト特性などの記録特性が低下する。

【0012】また前記界面付近での元素Pの含有量が低下することで、前記界面付近は磁性を帯びやすく、これによって前記ギャップ層4の膜厚で決定されるギャップ長G1の大きさが変動するため、所定の記録特性を有する薄膜磁気ヘッドを歩留まり良く製造できない。

【0013】そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、特に前記界面付近における元素Pの含有量を従来に比べ多くすることで、ギャップ層の耐食性及び平滑性を向上させることができ、また非磁性化を促進できる磁気記録素子を提供することを目的としている。

【0014】また本発明は、パルス電流による電気メッキ法によりギャップ層をメッキ形成することで、前記界面付近で元素Niがエピタキシャル成長により結晶化するのを抑制し、非磁性元素（例えば元素Pなど）を多く含有させることが可能な磁気記録素子の製造方法を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、下部コア層と、前記下部コア層上に、直接に又は下部磁極層を介して形成されたギャップ層と、前記ギャップ層上に、直接に又はトラック幅を決める上部磁極層を介して形成される上部コア層とを有する磁気記録素子において、前記ギャップ層は、Ni-Pによってメッキ形成されており、前記下部磁極層あるいは前記下部コア層との界面から10nmまでの膜厚内の元素Pの含有量が、8質量%以上で15質量%以下であることを特徴とするものである。

【0016】これにより前記ギャップ層には、下部磁極層あるいは下部コア層との界面から膜厚方向に、Niのエピタキシャル成長による結晶化した領域が形成されず、従来、Niが結晶化した界面付近は、本発明では、元素Pが8質量%以上で15質量%以下含有されたアモ

ルファス状態になっている。

【0017】このように前記界面では、元素Pが従来よりも多く含有されたアモルファス状態となることで、前記ギャップ層の耐食性及び平滑性が向上し、スライダ製造の洗浄工程の洗浄液等に侵食されず、従来のように前記ギャップ層に亀裂が入るなどの不具合を防止できる。また前記界面から10nmの膜厚内に元素Pが8質量%以上で15質量%以下含有されることで、この部分を非磁性にでき、ギャップ長G1が所定値となる磁気記録素子を歩留まり良く製造できる。

【0018】また本発明では、前記界面から40nmまでの膜厚内の元素Pの含有量が、8質量%以上で15質量%以下であることが好ましい。

【0019】また本発明では、前記元素Pの含有量は、10質量%以上で15質量%以下であることが好ましく、より好ましくは、前記元素Pの含有量は、11質量%以上で15質量%以下である。

【0020】上記の範囲内であれば、元素Niのエピタキシャル成長による結晶化をより抑えることができ前記ギャップ層の耐食性をさらに向上させることができると共に、前記ギャップ層の界面付近での非磁性化をより促進でき、良好な記録特性を有する磁気記録素子を製造することが可能である。

【0021】また本発明では、前記ギャップ層の膜厚全体の平均した元素Pの含有量は、11質量%以上で15質量%以下であることが好ましい。

【0022】前記界面から少なくとも10nm、好ましくは40nmの膜厚内のみでなく前記ギャップ層の膜厚全体の元素Pの平均含有量を上記の範囲内に規制することで、前記ギャップ層全体の耐食性の向上を図ることができ、また前記ギャップ層全体の非磁性化を促進でき、前記ギャップ層近傍において漏れ磁界を確実に発生させることができる。

【0023】なお上記した元素Pの含有量の測定は、X線分析装置を用いて行った。X線分析装置のみでは元素Pの含有量は相対的な値しか得られないので、湿式分析で前記X線分析装置から得られた元素Pの含有量を補正し絶対値を得た。それが上記した本発明の元素Pの含有量である。

【0024】また下部磁極層あるいは下部コア層との界面からの距離については、透過電子顕微鏡（TEM）を用いて測定した。

【0025】また本発明は、磁性材料製の下部コア層と、記録媒体との対向面で前記下部コア層の上にギャップ層を介して対向する磁性材料製の上部コア層とを有する、磁気記録素子の製造方法において、（a）前記下部コア層をメッキ形成する工程と、（b）前記下部コア層上に直接、または前記下部コア層上に下部磁極層をメッキ形成した後この下部磁極層上に、Niを主成分とした非磁性のギャップ層をパルス電流を用いた電気メッ

キ法によりメッキ形成する工程と、(c) 前記ギャップ層上に直接、または上部磁極層を介して、上部コア層をメッキ形成する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0026】既に説明したように従来では直流電流を用いた電気メッキ法によりギャップ層をメッキ形成していたが、この方法であると電流密度の分布に偏りが発生し、あるメッキ面に電流が集中的に且つ継続して流れる。そしてこのような電流分布の偏りによって、前記下部磁極層あるいは下部コア層との界面付近では、Niがエピタキシャル成長により結晶化する。これによって前記界面付近での非磁性元素（例えば元素Pなど）の含有量は急激に低下し、この部分の耐食性及び非磁性化は低下した。

【0027】そこで本発明では、直流電流に代えてパルス電流を用いた電気メッキ法を使用することとした。

【0028】すなわち電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、従来のように直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になり、ギャップ層を少しずつ形成してゆく。

【0029】これによって前記界面付近では、Niのエピタキシャル成長による結晶化は抑制され、前記界面付近に非磁性元素を適量含むアモルファス状態としてメッキ成長させることが可能になる。よって耐食性及び平滑性に優れたギャップ層を形成でき、また前記界面付近における非磁性化を促進できる。

【0030】また本発明では、前記(b)工程において、前記ギャップ層を、最初に所定の電流密度を有するパルス電流を用いて所定の膜厚までメッキ形成した後、残りのギャップ層を前記所定の電流密度よりも高い電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成することが好ましい。

【0031】上記のように最初、すなわち界面からのメッキ形成では、電流密度を小さくして、メッキ成長を遅くすることでNiのエピタキシャル成長による結晶化を抑制し、非磁性元素を適量含んだアモルファス状態とすることができる。その後、電流密度を上げることでメッキ成長を速めてギャップ層形成を短時間で形成できるようにする。電流密度を上げる段階では、電流密度を小さくして形成したギャップ層は既にアモルファス化してメッキ成長しているので、その上に電流密度を上げて形成するギャップ層も適量の非磁性元素を含みながらアモルファス化してメッキ成長してゆく。このため本発明では、前記ギャップ層全体を適量の非磁性元素を含むアモルファス状態とすることができる。

【0032】また本発明では、前記所定の電流密度を、 $1.5\text{ mA/cm}^2$ 以上で $3.0\text{ mA/cm}^2$ 以下とし、

この電流密度を有するパルス電流を用いて前記ギャップ層を最初の $10\text{ nm}$ の膜厚までメッキ形成することが好ましい。

【0033】また本発明では、前記ギャップ層を最初の $40\text{ nm}$ の膜厚までメッキ形成することをより好ましい。

【0034】上記の電流密度の数値範囲内であると、界面付近ではゆっくりとギャップ層をメッキ成長させて膜中に非磁性元素が適量入ってアモルファス化していき、元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を適切に抑制することができる。なお上記の電流密度よりも小さい値であると、メッキ成長速度が遅すぎて前記ギャップ層がメッキ成長しづらくなり好ましくない。また上記の電流密度よりも大きい値であると、メッキ成長が速すぎて、膜中に非磁性元素が入りづらくなり元素Niが結晶化して好ましくない。

【0035】なお前記ギャップ層をNiPでメッキ形成するとき、上記の数値範囲内であれば、最初の $10\text{ nm}$ の膜厚内の元素Pの含有量を、8質量%以上で15質量%以下に設定することができる。あるいは好ましくは、最初の $40\text{ nm}$ の膜厚内の元素Pを8質量%以上で15質量%以下に設定することができる。

【0036】また本発明では、前記残りのギャップ層を、 $8.5\text{ mA/cm}^2$ 以上で $11.0\text{ mA/cm}^2$ 以下の電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成することが好ましい。前記残りのギャップ層のメッキ形成時の電流密度を最初よりも上げることでメッキ成長を速め、ギャップ層を短時間で形成できる。また前記残りのギャップ層を上記の高い電流密度を有するパルス電流でメッキ形成しても、その下に形成されているギャップ層はアモルファス化されているので、それに合わせて前記残りのギャップ層を適量の非磁性元素を含んだアモルファス状態で形成できる。また前記ギャップ層をNiPで形成するとき、ギャップ層の膜厚全体の元素Pの平均した含有量を11質量%以上で15質量%以下に設定することができる。

【0037】なお本発明では、前記ギャップ層をNi-P、Ni-W、Ni-P-Mo、およびNi-P-Wのいずれか一種でメッキ形成することができる。

【0038】すなわち上記したパルス電流を用いた電気メッキ法ではNiPに限られず、Ni-Wなどを使用した場合でも、界面付近での元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を抑制でき、耐食性及び平滑性に優れ、非磁性化を促進できるギャップ層をメッキ形成することが可能である。

【0039】

【発明の実施の形態】図1は、本発明における磁気記録素子（薄膜磁気ヘッド）の構造を示す部分正面図、図2は磁極部を拡大した部分拡大図、図3は図1に示す薄膜磁気ヘッドを3-3線から切断し矢印方向から見た部分

断面図である。

【0040】図1に示す薄膜磁気ヘッドは、記録用のインダクティブヘッドであるが、本発明では、このインダクティブヘッドの下に、磁気抵抗効果を利用した再生用ヘッド（いわゆるAMR、GMR、TMRなどを用いたMRヘッド）が積層されている。

【0041】図1に示す符号20は、例えばパーマロイなどの磁性材料で形成された下部コア層である。なお、前記下部コア層20の下側に再生用ヘッドが積層される場合、前記下部コア層20とは別個に、磁気抵抗効果素子をノイズから保護するシールド層を設けてもよいし、あるいは、前記シールド層を設けず、前記下部コア層20を、前記再生用ヘッドの上部シールド層として機能させてもよい。

【0042】図1に示すように前記下部コア層20の両側には、絶縁層23が形成される。また図1に示すように、下部磁極層21の基端から延びる下部コア層20の上面20aはトラック幅方向（図示X方向）と平行な方向に延びて形成されているとよく、あるいは前記上部コア層26から離れる方向に傾斜する傾斜面20b、20bが形成されているとよい。前記下部コア層20の上面に傾斜面20b、20bが形成されることで、サイドブリッジングの発生をより適切に低減させることができる。

【0043】図1に示すように、前記下部コア層20上には、磁極部24が形成され、前記磁極部24は記録媒体との対向面に露出形成されている。この実施例において前記磁極部24はトラック幅Twで形成された、いわばトラック幅規制部である。前記トラック幅Twは、0.7 $\mu$ m以下で形成されることが好ましく、より好ましくは0.5 $\mu$ m以下である。

【0044】図1に示す実施例では、前記磁極部24は、下部磁極層21、ギャップ層22、および上部磁極層35の3層膜の積層構造で構成されている。以下、前記磁極層21、35およびギャップ層22について説明する。

【0045】図1に示すように、前記下部コア層20上には、メッキ下地層25（図3を参照のこと）を介して、磁極部24の最下層となる下部磁極層21がメッキ形成されている。前記下部磁極層21は、下部コア層20と磁気的に接続されており、前記下部磁極層21は、前記下部コア層20と同じ材質でも異なる材質で形成されていてもどちらでもよい。また単層膜でも多層膜で形成されていてもどちらでもよい。なお前記下部磁極層21の高さ寸法は、例えば0.3 $\mu$ m程度で形成される。

【0046】前記下部磁極層21上には、非磁性のギャップ層22が積層されている。本発明では、前記ギャップ層22は、非磁性金属材料で形成されて、下部磁極層21上にメッキ形成される。なお前記ギャップ層22の高さ寸法は、例えば0.2 $\mu$ m程度で形成される。

【0047】次に前記ギャップ層22上には、後述する上部コア層26と磁気的に接続する上部磁極層35がメッキ形成されている。なお前記上部磁極層35は、上部コア層26と同じ材質で形成されていてもよいし、異なる材質で形成されていてもよい。また単層膜でも多層膜で形成されていてもどちらでもよい。なお前記上部磁極層35の高さ寸法は、例えば2.4 $\mu$ m～2.7 $\mu$ m程度で形成されている。

【0048】上記したようにギャップ層22が、金属材料であるNiPでメッキ形成されていれば、下部磁極層21、ギャップ層22および上部磁極層35を連続してメッキ形成することが可能になる。

【0049】なお本発明では前記磁極部24は、上記3層膜の積層構造に限られない。前記磁極部24は、ギャップ層22と上部磁極層35からなる2層膜で形成されていてもよい。

【0050】また上記したように、磁極部24を構成する下部磁極層21および上部磁極層35は、それぞれの磁極層が磁気的に接続されるコア層と同じ材質でも異なる材質で形成されてもどちらでもよいが、記録密度を向上させるためには、ギャップ層22に対向する下部磁極層21および上部磁極層35は、それぞれの磁極層が磁気的に接続されるコア層の飽和磁束密度よりも高い飽和磁束密度を有していることが好ましい。このように下部磁極層21および上部磁極層35が高い飽和磁束密度を有していることにより、ギャップ近傍に記録磁界を集中させ、記録密度を向上させることが可能になる。

【0051】ところで本発明は、前記ギャップ層22はNiPでメッキ形成され、図2に示すように前記下部磁極層21との界面から10nmまでの膜厚H1内の元素Pの含有量が、8質量%以上で15質量%以下に設定されている。好ましくは40nmまでの膜厚H1内の元素Pの含有量が、8質量%以上で15質量%以下に設定されている。

【0052】図2に示すように前記ギャップ層22は、前記下部磁極層21との界面が平滑化され、しかも前記膜厚H1内では、上記含有量の元素Pを含んだアモルファス状態になっている。

【0053】このように本発明では、元素Pの含有量は界面付近で従来よりも多くなり、適正量の元素Pを含んだアモルファス状態でメッキ形成されることで、前記界面付近でのギャップ層22の耐食性及び平滑性を向上させることが可能である。従って本発明では、スライダ加工の洗浄工程などで使用される中性やアルカリ性の洗浄剤に曝されても、前記ギャップ層22は侵食されず、前記ギャップ層22に従来のような亀裂（図15を参照のこと）が入ることはない。

【0054】また前記ギャップ層22の前記界面付近で適量の元素Pが含まれることで、この部分での非磁性化を促進できる。ギャップ長G1は前記ギャップ層22の

膜厚で決定されるが、前記ギャップ層22の界面付近が適切に非磁性化されることで、前記ギャップ長G1を所定値に収めることが可能である。

【0055】よって本発明では、薄膜磁気ヘッドのオーバーライト特性などの記録特性を良好に保ち、しかも所定の記録特性を有する薄膜磁気ヘッドを歩留まり良く製造することが可能である。

【0056】なお、上記した元素Pの含有量の測定は、X線分析装置によって行った。ただしX線分析装置による元素Pの含有量は相対値として測定されるので、これを絶対値に補正するため、前記X線分析装置による測定後、湿式分析を行った。これにより測定された元素Pの含有量が上記した値である。

【0057】また前記界面からの距離については、透過電子顕微鏡(TEM)を用いて測定した。

【0058】また本発明では、前記界面から10nmまで、好ましくは40nmの膜厚H1内の元素Pの含有量が、10質量%以上で15質量%以下であることが好ましい。また前記元素Pの含有量は11質量%以上で15質量%以下であることがより好ましい。

【0059】上記の範囲内であれば、前記NiP膜で形成されたギャップ層22の界面から膜厚H1内でのNiの結晶化を抑制してアモルファス化をより促進でき、耐食性及び平滑性の向上、さらには非磁性化をより促進させることができる。よって前記ギャップ層22の界面付近に亀裂等の不具合が発生することはなく、記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0060】また本発明では、前記ギャップ層22の膜厚全体の平均した元素Pの含有量は、11質量%以上で15質量%以下であることが好ましい。このようにギャップ層22の膜厚全体で上記した元素Pを含有することにより、前記ギャップ層22の膜厚全体の耐食性を向上させることができ、しかも非磁性化を促進できる。よって前記ギャップ層22全体を洗浄液などによる侵食から適切に保護できると共に、前記ギャップ近傍において漏れ磁界を確実に発生させることができる。

【0061】次に本発明では図3のように、前記磁極部24は、記録媒体との対向面(ABS面)からハイト方向(図示Y方向)にかけて長さ寸法L1で形成されている。前記磁極部24と下部コア層20間には例えば有機絶縁材料などで形成されたGd決め層27が形成されている。なお前記Gd決め層27の先端から記録媒体との対向面までの距離はL2で形成され、この距離L2はギャップデプス(Gd)である。

【0062】また図3に示すように、前記磁極部24のハイト方向(図示Y方向)の後方であって下部コア層20上には絶縁下地層28を介してコイル層29が螺旋状に巻回形成されている。前記絶縁下地層28は、例えば、AlO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO、AlN、AlSiN、TiN、SiN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Ni

O、WO、WO<sub>3</sub>、BN、CrN、SiONのうち少なくとも1種からなる絶縁材料で形成されていることが好ましい。

【0063】さらに前記コイル層29の各導体部のピッチ間は、絶縁層30によって埋められている。前記絶縁層30は、AlO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO、AlN、AlSiN、TiN、SiN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、NiO、WO、WO<sub>3</sub>、BN、CrN、SiONのうち少なくとも1種から選択されることが好ましい。

【0064】前記絶縁層30は、図1に示すように、前記磁極部24のトラック幅方向(図示X方向)の両側に形成され、前記絶縁層30は記録媒体との対向面に露出形成されている。

【0065】図3に示すように、前記絶縁層30上には、第2のコイル層33が螺旋状に巻回形成されている。

【0066】図3に示すように、前記第2のコイル層33は、レジストやポリイミド等の有機材料で形成された絶縁層32によって覆われ、前記絶縁層32上には、NiFe合金等で形成された上部コア層26が例えばフレームメッキ法等によりパターン形成されている。

【0067】また図3に示すように、前記上部コア層26の先端部26aは、前記上部磁極層35上に磁気的に接続されて形成され、前記上部コア層26の基端部26bは、下部コア層20上にNiFe合金等の磁性材料で形成された持上げ層36上に磁気的に接続されて形成されている。なお前記持上げ層36は形成されていなくても良く、この場合、前記上部コア層26の基端部26bは、下部コア層20上に直接接続されることになる。前記上部コア層26上はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の保護層34によって覆われている。

【0068】また図1に示すように、前記上部磁極層35上に接合されている端部での上部コア層26の幅寸法は、前記上部磁極層35のトラック幅方向の幅寸法よりも大きくなっていることがわかる。これにより、前記上部コア層26からの磁束を、効率よく前記上部磁極層35に流すことができ、記録特性の向上を図ることができる。

【0069】図4は、本発明の別の実施の形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。なお図4に示す薄膜磁気ヘッドの図示左側の端面が記録媒体との対向面となっている。

【0070】本実施の形態では、下部コア層40の上に、非磁性金属材料からなるギャップ層41が下部コア層40上にメッキ形成されている。

【0071】本発明では、非磁性金属材料として、NiPが選択され、前記下部コア層40との界面から10nmの膜厚内で、好ましくは40nmの膜厚内での元素Pの含有量は8質量%以上で15質量%以下に設定されている。好ましくは10質量%以上で15質量%以下であ

り、より好ましくは11質量%以上で15質量%以下である。

【0072】これにより前記下部コア層40との界面から10nmの膜厚内では、元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を抑制でき、上記数値範囲内の元素Pを含有したアモルファス状態となっている。このため前記界面での耐食性及び平滑性を向上させることができ、スライダ製造工程での洗浄液等による侵食を回避でき、従来のように前記ギャップ層41の界面付近での亀裂等の発生を抑制することができる。また上記の元素Pを含むギャップ層41であれば前記界面付近での非磁性化を適切に促進させることができるため、ギャップ長G1が一定の大きさである薄膜磁気ヘッドを歩留まり良く製造することが可能である。

【0073】また前記ギャップ層41の膜厚全体の平均した元素Pの含有量は11質量%以上で15質量%以下であることが好ましく、これによりギャップ層41の膜厚全体を適量の元素Pを含んだアモルファス状態にでき、耐食性を向上させることができると共に、ギャップ近傍において漏れ磁界を確実に発生させることができる。

【0074】なお前記元素Pの含有量の測定方法に関しては図1で説明した通りであり、X線分析装置を用い、さらに湿式分析で前記X線分析装置で測定された含有量を補正して絶対値にしており、また前記界面からの距離については透過電子顕微鏡を用いて測定した。

【0075】図4では前記ギャップ層41の上にはポリイミドまたはレジスト材料製の絶縁層42を介して平面的に螺旋状となるようにパターン形成されたコイル層43が設けられている。なお、前記コイル層43はCu(銅)などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料で形成されている。

【0076】さらに、前記コイル層43はポリイミドまたはレジスト材料で形成された絶縁層44に囲まれ、絶縁層44の上に軟磁性材料製の上部コア層45が形成されている。

【0077】図4に示すように、上部コア層45の先端部45aは、記録媒体との対向面において、下部コア層40の上にギャップ層41を介して対向し、ギャップ長G1の磁気ギャップが形成されており、上部コア層45の基端部45bは、下部コア層40と磁気的に接続されている。

【0078】また下部コア層40の飽和磁束密度Msは高いことが好ましいが、上部コア層45の飽和磁束密度Msよりも低くすることにより、下部コア層40と上部コア層45との間における洩れ磁界を磁化反転しやすくすると、より記録媒体への信号の書き込み密度を高くできる。

【0079】次に図1と同じ形状の薄膜磁気ヘッドの製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0080】図5では下部コア層20上に、レジスト層51を塗布形成している。前記レジスト層51の厚さ寸法H3は、少なくとも図1に示す完成した薄膜磁気ヘッドにおける磁極部24の厚さ寸法よりも厚く形成されていなければならない。

【0081】次にレジスト層51に、露光現像によって、記録媒体との対向面からハイト方向(図示Y方向)に所定の長さ寸法であって、且つトラック幅方向(図示X方向)に所定の幅寸法で形成される溝51aを形成し、溝51a内に、磁極部24を形成する。

【0082】図5に示すように磁極部24を、下から下部磁極層21、ギャップ層22、および上部磁極層35で構成し、これら各層を、メッキ下地層25を下地として連続してメッキ形成する。これにより製造工程の簡略化を図ることが可能である。

【0083】本発明では、前記ギャップ層22をパルス電流を用いた電気メッキ法によってメッキ形成する。前記ギャップ層22をNiを主成分とした非磁性材料により形成する。

【0084】本発明では数秒サイクルでON/OFFを繰返し、そのときのデューティ比を、0.1から0.5程度に設定することが好ましい。例えば0.5秒サイクルでON/OFFを繰返す。

【0085】上記のようにパルス電流を用いた電気メッキ法によれば、ギャップ層22のメッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設けることができる。このように電流を流さない時間を設けることで、従来のように直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。そして前記ギャップ層22を少しずつメッキ形成することができる。

【0086】このようにパルス電流を用いた電気メッキ法によって、メッキ形成時における電流密度の分布の偏りを低減させることができるから、前記下部磁極層21との界面付近でメッキ形成されたギャップ層22には、従来のように元素Niがエピタキシャル成長により結晶化していない。本発明では前記界面付近での前記ギャップ層22を非磁性元素が従来に比べ多く含まれたアモルファス状態でメッキ形成することができる。

【0087】このように前記ギャップ層22の界面付近では、非磁性元素を適量に含んだアモルファス状態となることにより、前記界面付近での前記ギャップ層22の耐食性及び平滑性を向上させることが可能である。また前記界面付近での非磁性化を促進することができる。

【0088】また本発明では、前記ギャップ層22を、最初に所定の電流密度を有するパルス電流を用いて所定の膜厚までメッキ形成した後、残りのギャップ層22を前記所定の電流密度よりも高い電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成することが好ましい。

【0089】これにより、前記ギャップ層22の初期段

階のメッキ形成を、元素Pを多く含んだアモルファス状態にでき、前記元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を抑制することができる。このため前記ギャップ層22と下部磁極層21との界面付近では、前記ギャップ層22の耐食性、平滑性を向上させることができ、また非磁性化を促進できる。

【0090】また前記ギャップ層22を所定の電流密度を有するパルス電流を用いて所定膜厚までメッキ形成した後、残りのギャップ層22を前記所定の電流密度よりも高い電流密度を有するパルス電流によってメッキ形成することで、前記残りのギャップ層22を速くメッキ形成することができ、前記ギャップ層22のメッキ形成を短時間で形成することが可能になる。なお既に初期段階でメッキ形成されたギャップ層22は、非磁性元素を適量に含んだアモルファス状態となっていることにより、前記残りのギャップ層22もそれに合わせて非磁性元素を適量に含んだアモルファス状態でメッキ形成することが可能である。すなわち本発明によれば、前記ギャップ層22全体を非磁性元素を適量に含んだアモルファス状態で形成することが可能である。

【0091】また本発明では、前記所定の電流密度を、 $1.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上で $3.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下とし、この電流密度を有するパルス電流を用いて前記ギャップ層22を最初の $10\text{nm}$ の膜厚までメッキ形成することが好ましい。より好ましくは前記ギャップ層22を最初の $40\text{nm}$ の膜厚までメッキ形成することである。このときメッキ形成時間は、 $7\sim 15$ 分程度である。またON/OFFのデューティー比は、例えば $0.5$ 秒サイクルである。また前記電流密度に合わせて電流値を決定しなければならないが、一例として前記電流値は $40\text{mA}$ 以上で $70\text{mA}$ 以下程度である。

【0092】例えば前記ギャップ層22にNiPを選択したとき、前記ギャップ層22の下部磁極層21との界面から $10\text{nm}$ の膜厚内、好ましくは $40\text{nm}$ の膜厚内には、元素Pが $8$ 質量%以上で $15$ 質量%以下含まれたアモルファス状態にメッキ形成でき、元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を抑制できる。よって前記界面から $10\text{nm}$ の膜厚内、好ましくは前記界面から $40\text{nm}$ の膜厚内での前記ギャップ層22の耐食性及び平滑性を向上させることができ、また非磁性化を促進することができる。

【0093】なお電流密度が $1.5\text{mA}/\text{cm}^2$ よりも小さい場合、前記ギャップ層22のメッキ成長速度が非常に遅くなることにより、前記ギャップ層22を適切にメッキ形成できず好ましくない。また前記電流密度が $3.0\text{mA}/\text{cm}^2$ よりも大きい場合、メッキ成長速度が急激に速くなることで、界面では元素Niのエピタキシャル成長による結晶化が促進され元素Pが適量に入らなくなり、耐食性の低下、および磁性化を招いて好ましくない。

【0094】また本発明では、前記電流密度を有するパルス電流により、前記ギャップ層22を $10\text{nm}$ 、あるいは $40\text{nm}$ までメッキ成長させた後、前記残りのギャップ層22を、 $8.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上で $11.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下の電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成することが好ましい。これにより前記残りのギャップ層22を速くメッキ形成でき、前記ギャップ層22のメッキ形成時間の短縮化を図ることができる。なおメッキ形成時間は、最終的に得たい膜厚の大きさによって異なるが、例えば7分から8分程度である。またON/OFFのデューティー比は、例えば $0.5$ 秒サイクルである。また前記電流密度に合わせて電流値を決定しなければならないが、一例として前記電流値は $200\text{mA}$ 以上で $250\text{mA}$ 以下程度である。

【0095】またこれにより前記ギャップ層22の膜厚全体の平均した元素Pの含有量を $11$ 質量%以上で $15$ 質量%以下にすることができ、前記ギャップ層22全体の耐食性及び非磁性化を促進させることが可能である。

【0096】なお上記したパルス電流による電気メッキ法を用いた製造方法は、前記ギャップ層22をNi-Pで形成することに限定されない。前記ギャップ層22をNi-P以外に、Ni-W、Ni-P-Mo、およびNi-P-Wのいずれか一種でメッキ形成することが可能である。かかる場合でも上記したパルス電流を用いた電気メッキ法を用いてメッキ形成する。これにより前記Ni-W、Ni-P-Mo、Ni-P-Wのいずれかを用いた場合、前記下部磁極層22との界面付近に非磁性元素である、元素W、元素PとMoあるいは元素PとWを適量含ませ、アモルファス状態にすることができ、前記ギャップ層22の耐食性及び平滑性を向上させることができ、また非磁性化を促進することができる。

【0097】なおこのパルス電流を用いた電気メッキ法は、下部コア層20、下部磁極層21、上部磁極層35、上部コア層26などの各磁性層をメッキ形成する際に使用しても良い。これにより結晶粒の粗大化が抑制されるとともに、前記各磁性層の上面はより平滑面とされる。したがって前記各磁性層の飽和磁束密度を向上させることができる。なお特に前記下部磁極層21をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成することが好ましい。これにより前記下部磁極層21上に形成されるギャップ層22の前記下部磁極層21との界面では、元素Niのエピタキシャル成長による結晶化をより適切に抑制でき、非磁性元素を多く含んだアモルファス状態にでき、耐食性及び非磁性化をさらに促進することが可能である。

【0098】なお図5に示す溝51a内に形成される磁極部24の膜構成は、上記した3層の構成に限られない。すなわち、磁極部24は、下部コア層20と連続する下部磁極層21及び/または上部コア層26と連続する上部磁極層35が形成され、上部コア層26又は下部



コア層20の一方とこれに対向する前記一方の磁極層の間、或いは、下部磁極層21と上部磁極層35の間に位置するギャップ層22で構成されれば、どのような膜構成であってもかまわない。

【0109】次に図5では、前記レジスト層51を除去し、新たなレジスト層を形成し、このレジスト層に持上げ層36形成のための抜きパターンを形成する。そして前記抜きパターン内に持上げ層36を形成する（図6を参照のこと）。

【0110】次に図7に示す工程では、磁極部24上から下部コア層20上、さらには持上げ層36上からハイト方向にかけて、絶縁材料で形成された絶縁下地層28をスパッタ形成する。

【0111】そして図7に示すように、絶縁下地層28上に、コイル層29を螺旋状にパターン形成する。

【0112】次に図8に示す工程では、コイル層29上を絶縁層30により覆う。このとき、磁極部24上および持上げ層36上も絶縁層30によって覆われる。

【0113】なお本実施の形態では絶縁層30を無機材料によってスパッタ形成する。前記無機材料には、 $Al_2O_3$ 、 $SiN$ 、 $SiO_2$ のうちから1種または2種以上を選択することが好ましい。

【0114】そして図8に示すように、絶縁層30の表面をCMP技術などを利用して研磨し、磁極部24の表面が露出するB-B線上まで削っていく。その状態を示すのが、図9である。

【0115】また上記のCMP法によって、絶縁層30の表面は、磁極部24の接合面24aと同一平面上で平坦化されて形成されている。

【0116】次に、図10に示されるように、絶縁層30上に、第2のコイル層33を螺旋状にパターン形成する。第1層目のコイル層29と第2のコイル層33とは、それぞれの巻き中心部を介して電氣的に接続される。さらに、第2のコイル層33を、レジストやポリイミドなどの有機絶縁材料で形成された絶縁層32によって覆い、絶縁層32上に上部コア層26を、フレームメッキ法などの既存の方法でパターン形成する。

【0117】図10に示すように上部コア層26は、その先端部26aにて磁極部24上に接して形成され、また基端部26bにて下部コア層20上に形成された持上げ層36上に磁氣的に接して形成される。

【0118】

【実施例】本発明では、実施例としてパルス電流を用いた電気メッキ法によりギャップ層をメッキ形成し、比較例として、直流電流を用いた電気メッキ法によりギャップ層をメッキ形成し、それぞれのギャップ層の表面状態を透過電子顕微鏡（TEM）で調べた。

【0119】実施例では、最下層として下部磁極層21となるNiFe合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成した。前記NiFeの組成比は、Fe

が70質量%で、残りがNi質量%であった。なお前記下部磁極層を、4000mAのパルス電流を用いてメッキ形成した。

【0120】次に前記下部磁極層21にNiPからなるギャップ層22をパルス電流による電気メッキ法によりメッキ形成した。なおメッキ浴組成は、硫酸ニッケルが100g/l、塩化ニッケルが30g/l、亜リン酸水素ナトリウムが30g/lであった。

【0121】まず、前記ギャップ層を50mAのパルス電流を用い10分間、メッキ形成した。前記パルス電流の電流密度は、2.2mA/cm<sup>2</sup>であった。またON/OFFのデューティ比は0.5秒サイクルであった。またこのとき前記ギャップ層の膜厚は40nmとなった。

【0122】次に、250mAのパルス電流を用いて7分～8分間、残りのギャップ層をメッキ形成した。前記パルス電流の電流密度は、10.9mA/cm<sup>2</sup>であった。またON/OFFのデューティ比は0.5秒サイクルであった。またこのメッキ形成を終了した時点での前記ギャップ層全体の膜厚は200nmとなった。

【0123】次に前記ギャップ層上にNiFeからなる上部磁極層を4000mAのパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成した。前記上部磁極層のNiFe組成はFeが70質量%で、残りがNiの質量%であった。

【0124】次に比較例では、最下層となるNiFeの下部磁極層を4000mAのパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成した。前記下部磁極層のNiFe組成はFeが70質量%で、残りがNiの質量%であった。

【0125】次に前記下部磁極層に、NiPからなるギャップ層を70mAの直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成した。なおこのときのメッキ浴組成は、上記の実施例のときと同じである。さらに前記ギャップ層の上にNiFeからなる上部磁極層を4000mAパルス電流を用いて電気メッキ法によりメッキ形成した。

【0126】実施例の透過電子顕微鏡で撮影した写真を図11に、比較例の透過電子顕微鏡で撮影した写真を図12に示す。

【0127】図11に示す実施例では、前記ギャップ層と下部磁極層との界面が平滑化され、また前記ギャップ層には、上部磁極層や下部磁極層に見られる黒ずみの斑点が無いことがわかる。前記上部磁極層及び下部磁極層に見られる黒ずみの斑点は結晶である。すなわち実施例では、前記ギャップ層には結晶化された部分はなく全体的にアモルファス状態になっていると認めることができる。

【0128】一方、比較例の場合、前記下部磁極層とギャップ層との界面は、面粗れがひどく、また前記界面付

近での前記ギャップ層には黒ずみの斑点が見られる。これは前記ギャップ層を構成する元素Niがエピタキシャル的に成長し結晶化した部分であると認められる。

【0119】以上のようにパルス電流を用いた電気メッキ法の場合、直流電流を用いた場合に比べて、特に下部磁極層との界面でのギャップ層をアモルファス状態に形成でき、Ni結晶化を抑制できることがわかる。

【0120】次に、本発明では上記したパルス電流によってメッキ形成された実施例の膜構成、および直流電流によってメッキ形成された比較例の膜構成を用いて、前記ギャップ層の下部磁極層との界面からの距離と、元素Pの含有量との関係について調べた。前記界面からの距離については透過電子顕微鏡を用いて測定し、元素Pの含有量については、X線分析装置（湿式分析で補正）を用いて行った。その実験結果を図13に示す。

【0121】図13に示すように比較例では、界面から2.5nm程度まで元素Pの含有量が非常に低く8質量%以下であることがわかる。一方、実施例では、前記界面から10nmのいずれにおいても元素Pの含有量は8質量%以上であり、また前記界面から40nmの膜厚内でも同様である。このように実施例では比較例に比べて特に界面での元素Pの含有量を多くできることがわかる。なお実施例において、界面から40nmまでのメッキ形成は、電流密度を2.2mA/cm<sup>2</sup>として10分間行ったものである。

【0122】また比較例の場合、界面から約2.5nmを越えると、元素Pの含有量は8質量%を上回るが、グラフに示すように、その上限はせいぜい12質量%であり、また前記元素Pの含有量は、界面から深くなるほど一定に保たれるわけではなく、前記含有量の変動が激しいことがわかる。

【0123】それに対し実施例の場合、界面からの深さに関係なく、前記元素Pの含有量は、ほぼ一定に保たれることがわかる。なおこの実施例では、膜厚全体での平均した元素Pの含有量は約1.3質量%であり、本発明では前記元素Pの含有量は平均して11質量%以上で15質量%以内に収まることが好ましい。この範囲内であれば、前記ギャップ層全体の耐食性を向上させることができるとともに、非磁性化を促進させることが可能である。

【0124】ところで比較例のように、特に界面付近で元素Pが極端に小さくなっていると、この部分では図12に見たように元素Niの結晶化が促進し、耐食性が低下しており中性やアルカリ溶液の洗浄液などによって侵食されやすくなっている。また前記界面付近では元素Niの含有量が極端に多いことで磁性を帯び、前記界面付近は実質的にギャップ層として機能していないと考えられる。

【0125】一方、実施例の場合、前記界面から10nmの膜厚内、好ましくは40nmの膜厚のいずれでも元

素Pは8質量%以上を確保でき、図11に見たように前記界面付近でのアモルファス化を促進でき耐食性を向上させることができる。また元素Pを8質量%以上確保することで前記界面での非磁性化を適切に促進できる。ここで上限であるが、本発明では15質量%以下と設定した。これはメッキ浴中の元素P量を増やしても、メッキ形成されたNiP中の含有量は15質量%を越えることはないことに起因する。また好ましい範囲としては10質量%以上で15質量%以下であり、より好ましい範囲としては11質量%以上で15質量%以下とした。これによってより適切にギャップ層の界面付近での耐食性及び非磁性化を促進することができる。なお図13に示す実施例では、上記した好ましい範囲、およびより好ましい範囲を満たしていることがわかる。

【0126】なお電流密度に関しては、本発明では、最初、膜厚が10nm、好ましくは40nmまでは1.5mA/cm<sup>2</sup>以上から3.0mA/cm<sup>2</sup>以下であることが好ましい。図11及び図13に示した実施例では、最初の電流密度は2.2mA/cm<sup>2</sup>であった。なお電流の大きさに関しては、上記した電流密度の範囲内に合うように調整しなければならないが、例えば本発明では一例として、40mA以上で70mA以下を提示することができる。

【0127】次に残りのギャップ層をメッキ形成するときに使用される電流密度は、8.5mA/cm<sup>2</sup>以上で11.0mA/cm<sup>2</sup>以下であることが好ましい。なお図11及び図13に示した実施例では、残りのギャップ層をメッキ形成するときの前記電流密度は、10.9mA/cm<sup>2</sup>であった。またこの場合も、電流の大きさに関しては、上記した電流密度の範囲内に合うように調整しなければならないが、例えば本発明では一例として、200mA以上で250mA以下を提示することができる。

【0128】

【発明の効果】以上詳細に説明した本発明によれば、磁気記録素子の前記ギャップ層を形成するためにNiPが用いられ、また下部磁極層あるいは下部コア層との界面から10nmまでの元素Pの含有量が8質量%以上で15質量%以下とされることにより、前記界面から10nmの膜厚内で、元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を抑制できるので、元素Pを多く取り込み、アモルファス状態にすることができる。従って界面付近での前記ギャップ層の耐食性を向上させることができ、中性やアルカリ溶液に曝されても前記ギャップ層の侵食を適切に防止できる。

【0129】また前記元素Pの含有量を適量確保することで、界面付近での非磁性化を促進できる。

【0130】よって本発明では、記録特性に優れ、しかも一定の記録特性を有する磁気記録素子を歩留まり良く製造することができる。

【0131】また本発明の製造方法では、前記ギャップ層をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成することで、前記ギャップ層の界面付近での元素Niのエピタキシャル成長による結晶化を抑制することができる。したがって前記界面付近に元素Pなどの非磁性元素を多く取り込むことができ、前記界面付近をアモルファス状態にして耐食性を向上させることができる。

【0132】なお本発明では前記ギャップ層を最初、電流密度の小さいパルス電流によって所定の膜厚までメッキ形成し、次に前記電流密度よりも大きな電流密度によってメッキ形成することが好ましい。これによって前記ギャップ層の全体の耐食性及び非磁性化を促進できると共に、前記ギャップ層の形成時間をより速くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の磁気記録素子（薄膜磁気ヘッド）を示す正面図、

【図2】磁極部を拡大した部分拡大図、

【図3】図1の薄膜磁気ヘッドの3-3線における部分断面図、

【図4】本発明の第2の実施の形態の磁気記録素子（薄膜磁気ヘッド）を示す部分断面図、

【図5】本発明の図1ないし図3に示す磁気記録素子（薄膜磁気ヘッド）の製造方法を示す一工程図、

【図6】図5に示す工程の次に行なわれる一工程図、

【図7】図6に示す工程の次に行なわれる一工程図、

【図8】図7に示す工程の次に行なわれる一工程図、

【図9】図8に示す工程の次に行なわれる一工程図、

【図10】図9に示す工程の次に行なわれる一工程図、

【図11】ギャップ層をパルス電流による電気メッキ法によりメッキ形成した本発明（実施例）の磁極部の透過電子顕微鏡写真、

【図12】ギャップ層を直流電流による電気メッキ法によりメッキ形成した従来（比較例）の磁極部の透過電子顕微鏡写真、

【図13】従来例及び比較例におけるNiPの界面からの距離と元素Pの含有量との関係を示すグラフ、

【図14】従来における薄膜磁気ヘッドの構造を示す部分正面図、

【図15】従来における薄膜磁気ヘッドの不具合を説明するための磁極部の拡大図、

【符号の説明】

20 下部コア層

21 下部磁極層

22 ギャップ層

26 上部コア層

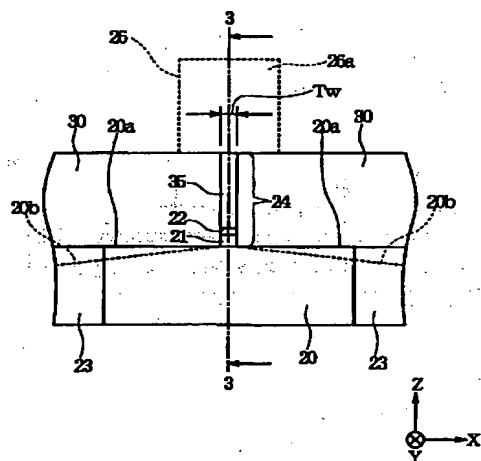
29、33、43 コイル層

35 上部磁極層

51 レジスト層

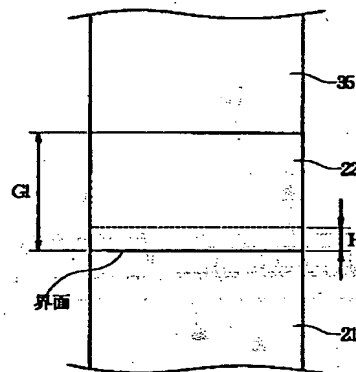
【図1】

図1

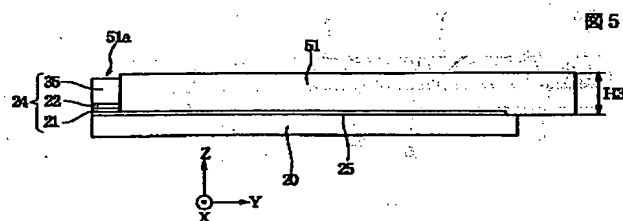


【図2】

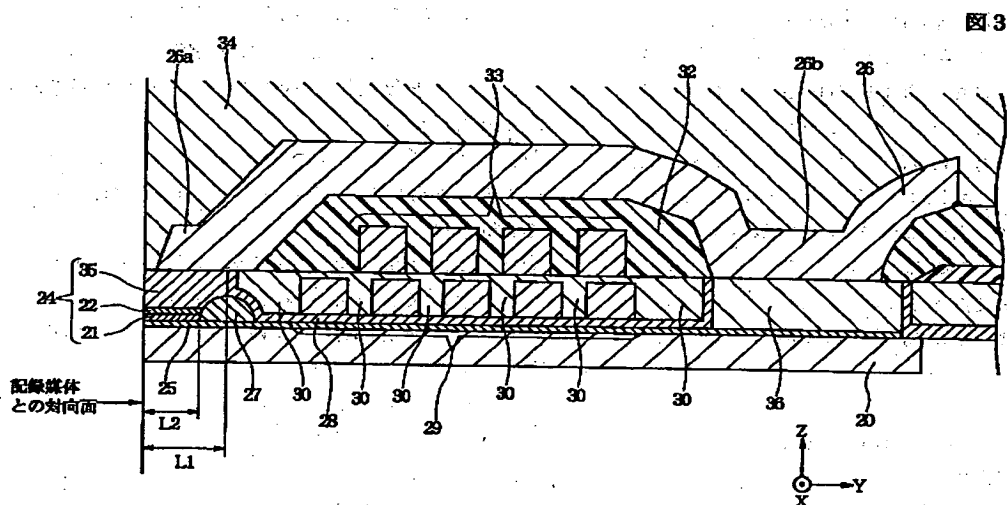
図2



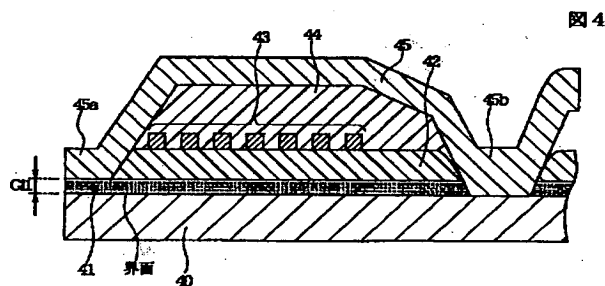
【図5】



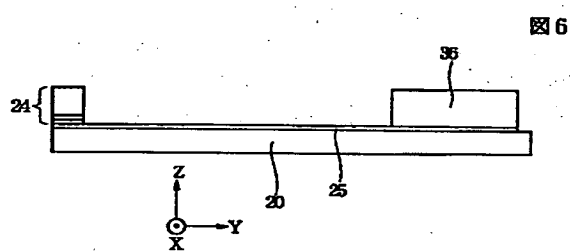
【図 3】



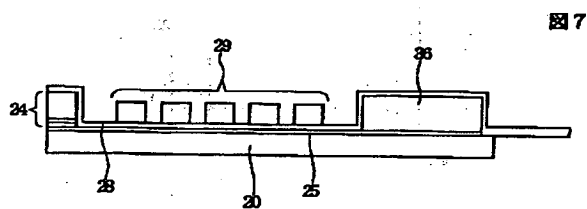
【図 4】



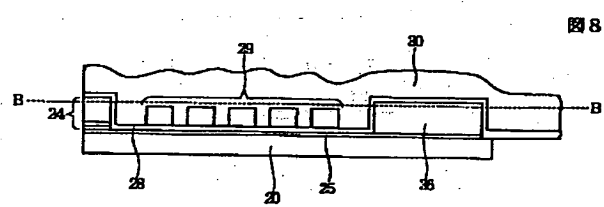
【図 6】



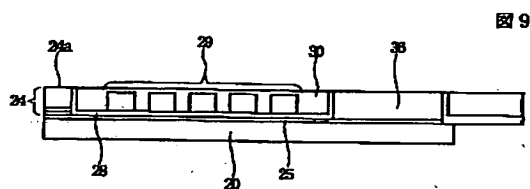
【図 7】



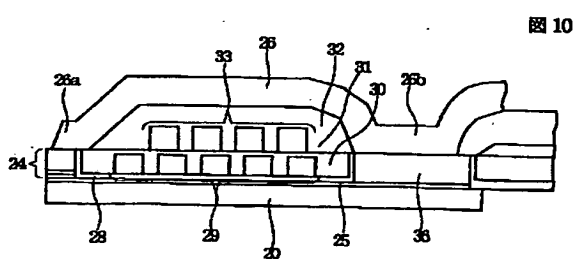
【图8】



【図 9】



【図 10】



【図11】

図 11



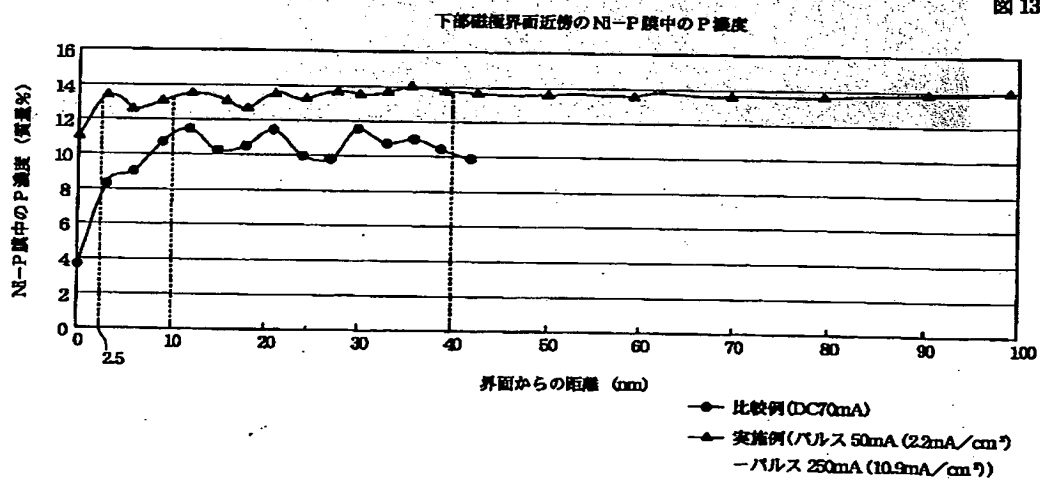
【図12】

図12



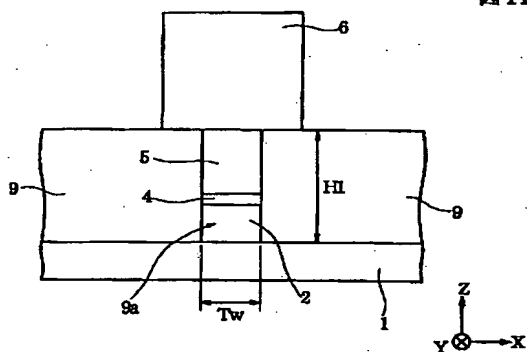
【図13】

図13



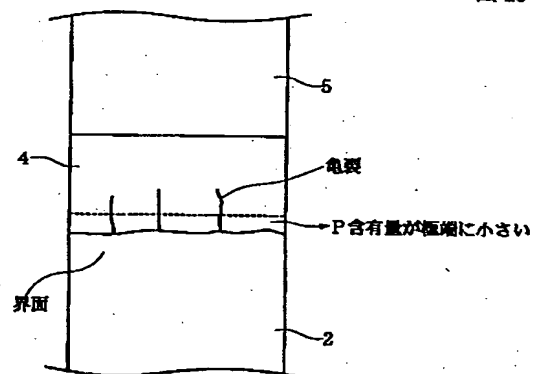
【図14】

図14



【図15】

図15



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7  
C 2 5 D 21/12

識別記号

F I  
C 2 5 D 21/12

テマコード (参考)  
K

F ターム (参考) 4K024 AA14 AA15 AB03 AB04 AB08  
AB11 AB19 BA02 BB09 BB14  
CA06 CA07 FA05 GA04 GA16  
5D033 BA21 DA04 DA31

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-175607

(43)Date of publication of application : 21.06.2002

(51)Int.Cl.

G11B 5/31  
 C25D 5/02  
 C25D 5/12  
 C25D 5/18  
 C25D 7/00  
 C25D 21/12

(21)Application number : 2000-372853

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 07.12.2000

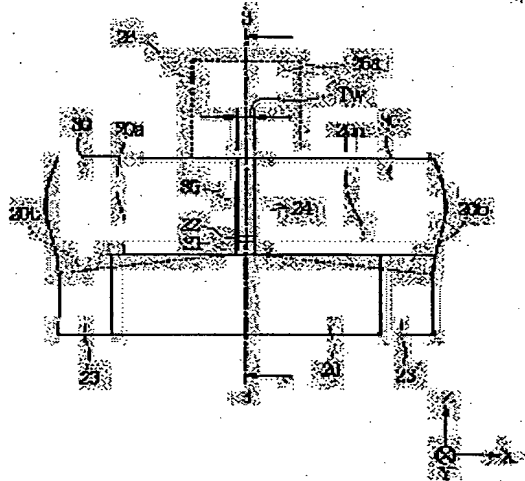
(72)Inventor : KANEDA YOSHIHIRO  
YAZAWA HISAYUKI

## (54) MAGNETIC RECORDING ELEMENT AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic recording element wherein corrosion resistance and smoothness of a gap layer can be enhanced and non-magnetization of the gap layer can be promoted.

SOLUTION: The gap layer 22 is formed by plating by using NiP or the like by an electroplating method using pulse current. In this way, the crystallization by epitaxial growth of Ni in the vicinity of the boundary of the gap layer 22 can be suppressed, thus a large quantity of non-magnetic elements such as an element P can be incorporated in the vicinity of the boundary and the vicinity of the boundary is made to be in the amorphous state, then corrosion resistance can be enhanced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 31.08.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-20169

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 30.09.2004

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] A lower core layer and the gap layer directly formed through the lower magnetic pole layer on said lower core layer, In the magnetic-recording component which has the up core layer formed on said gap layer through the up magnetic pole layer which determines the width of recording track directly said gap layer The magnetic-recording component to which plating formation is carried out by NiP and the content of the element P in the thickness from an interface with said lower magnetic pole layer or said lower core layer to 10nm is characterized by being below 15 mass % above 8 mass %.

[Claim 2] The magnetic-recording component according to claim 1 whose content of the element P in the thickness from said interface to 40nm is below 15 mass % above 8 mass %.

[Claim 3] The content of said element P is a magnetic-recording component according to claim 1 or 2 which is below 15 mass % above 10 mass %.

[Claim 4] The content of said element P is a magnetic-recording component according to claim 1 or 2 which is below 15 mass % above 11 mass %.

[Claim 5] The content of the element P which the whole thickness of said gap layer averaged is a magnetic-recording component according to claim 1 to 4 which is below 15 mass % above 11 mass %.

[Claim 6] In the manufacture approach of a magnetic-recording component of having a lower core layer made from a magnetic material, and the up core layer made from a magnetic material which counters through a gap layer on said lower core layer by the opposed face with a record medium (a) Process which carries out plating formation of said lower core layer (b) On said lower core layer, direct, Or the process which carries out plating formation of the nonmagnetic gap layer which used nickel as the principal component on this lower magnetic pole layer with electric plating using pulse current after carrying out plating formation of the lower magnetic pole layer on said lower core layer, (c) The manufacture approach of the magnetic-recording component characterized by having the process which carries out plating formation of the up core layer through a direct or up magnetic pole layer on said gap layer.

[Claim 7] The manufacture approach of the magnetic-recording component according to claim 6 which carries out plating formation of the remaining gap layers using the pulse current which has current density higher than said predetermined current density after carrying out plating formation of said gap layer to predetermined thickness in the aforementioned (b) process using the pulse current which has predetermined current density in the beginning.

[Claim 8] The manufacture approach of the magnetic-recording component according to claim 7 which makes said predetermined current density two or less 3.0 mA/cm by two or more 1.5 mA/cm, and carries out plating formation of said gap layer to the first 10nm thickness using the pulse current which has this current density.

[Claim 9] The manufacture approach of the magnetic sensing element according to claim 8 which carries out plating formation of said gap layer to the first 40nm thickness.

[Claim 10] The manufacture approach of the magnetic-recording component according to claim 7 to 9 which carries out plating formation of said remaining gap layers using the pulse current which has the current density of two or less [ 11.0mA //cm ] by two or more 8.5 mA/cm.

[Claim 11] The manufacture approach of the magnetic-recording component according to claim 6 to 10 which carries out plating formation of said gap layer by any one sort of nickel-P, nickel-W, nickel-P-Mo, and nickel-P-W.

---

[Translation done.]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the thin film magnetic head which the magnetic-recording component with which a hard disk drive unit etc. is equipped can be started, especially the corrosion resistance near an interface with the lower magnetic pole layer (or lower core layer) of a gap layer and smooth nature can be raised, and can promote nonmagnetic-ization, the magnetic-recording component about the manufacture approach, and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] Drawing 14 is the partial front view showing the structure of the magnetic-recording component (thin film magnetic head) in the former.

[0003] The sign 1 shown in drawing 14 is the lower core layer formed with magnetic materials, such as a permalloy, and the insulating layer 9 is formed on this lower core layer 1.

[0004] It applies in the height direction (the direction of graphic display Y) from an opposed face with a record medium, and slot 9a in which the inside width method was formed with the width of recording track Tw is formed in said insulating layer 9.

[0005] Into this slot 9a, plating formation of the lower magnetic pole layer 2 which connects with the lower core layer 1 magnetically sequentially from the bottom, the gap layer 4, and the up magnetic pole layer 5 which connects with the up core layer 6 magnetically is carried out. Furthermore, plating formation of the up core layer 6 is carried out on said up magnetic pole layer 5.

[0006] Moreover, on said insulating layer 9 in the height direction (the direction of graphic display Y), the coil layer (not shown) by which pattern formation was carried out spirally is prepared rather than slot 9a formed in the insulating layer 9.

[0007] In the inductive head shown in drawing 14, if a record current is given to said coil layer, a record field will be guided to the lower core layer 1 and the up core layer 6, and a magnetic signal will be recorded on record media, such as a hard disk, by the leak field from between the up magnetic pole layers 5 which connect with the lower magnetic pole layer 2 and the up core layer 6 which connect with the lower core layer 1 magnetically magnetically.

[0008] By the way, said gap layer 4 is formed by NiP in which plating formation is possible. In the former, plating formation of said NiP film was carried out with electric plating which used a direct current.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, when plating growth of said NiP film was carried out from the interface with said lower magnetic pole layer 2 with electric plating using a direct current, it turned out that especially the content of the element P near [ said ] an interface becomes very small. For example, said interface showed that the content of said element P became smaller than 8 mass % by the below-mentioned experimental result within about 2.5nm thickness.

[0010] If electroplating is carried out using a direct current, a bias occurs in distribution of the current density to the nickel-P film at the time of plating formation, and a current will flow continuously intensively to a certain plating side. And it is thought that the bias of such current distribution is that the element nickel which is easy to plan the crystalline lower magnetic pole layer 2 and grid consistency grows in epitaxial, and crystallizes, and it becomes extremely small [ the content of the element P near / said / an interface ]. Moreover, with the epitaxial growth of the above-mentioned nickel, \*\*\*\*\* in said interface becomes severe.

[0011] The content of the element P near [ said ] an interface was extremely small as mentioned above, and corrosion resistance fell, the NiP film which \*\*\*\*\* generated tended to be eaten away by the penetrant remover used for it at the washing process of slider manufacture etc. from neutrality since it is weak in the water solution of an alkali field, and nonconformity, like as shown in drawing 15 (mimetic diagram), a crack goes into said NiP film generated it. Recording characteristics, such as an over-writing property, fall by this.

[0012] Moreover, near [ said ] an interface tends to be tintured with magnetism, and since gap length's G1 magnitude determined by this by the thickness of said gap layer 4 is changed, it cannot manufacture the thin film magnetic head which has a predetermined recording characteristic with the sufficient yield, because the content of the element P near [ said ] an interface falls.

[0013] Then, this invention is for solving the above-mentioned conventional technical problem, and it aims at offering the magnetic-recording component which the corrosion resistance of a gap layer and smooth nature can be raised, and can promote nonmagnetic-ization by making [ many ] the content of the element P especially in near

[ said ] an interface compared with the former.

[0014] Moreover, this invention is carrying out plating formation of the gap layer with electric plating by pulse current, controls that Element nickel crystallizes with epitaxial growth near [ said ] an interface, and aims at offering the manufacture approach of a magnetic-recording component with possible making many nonmagnetic elements (for example, element P etc.) contain.

[0015]

[Means for Solving the Problem] The gap layer formed through the lower magnetic pole layer directly [ this invention ] on a lower core layer and said lower core layer, In the magnetic-recording component which has the up core layer formed on said gap layer through the up magnetic pole layer which determines the width of recording track directly said gap layer Plating formation is carried out by NiP and the content of the element P in the thickness from an interface with said lower magnetic pole layer or said lower core layer to 10nm is characterized by being below 15 mass % above 8 mass %.

[0016] By this, the crystallized field by the epitaxial growth of nickel is not formed in the direction of thickness at said gap layer from an interface with a lower magnetic pole layer or a lower core layer, but near the interface which nickel crystallized will be conventionally amorphous contained by Element P below 15 mass % by this invention above 8 mass %.

[0017] Thus, according to said interface, the corrosion resistance of said gap layer and smooth nature improve, and it is not eaten away by the penetrant remover of the washing process of slider manufacture etc., but nonconformity, like a crack goes into said gap layer like before can be prevented because Element P is [ of having contained mostly ] amorphous from the former. Moreover, this part is made to nonmagnetic and the magnetic-recording component from which gap length GI becomes a predetermined value can be manufactured with the sufficient yield because Element P contains below 15 mass % in 10nm thickness from said interface above 8 mass %.

[0018] Moreover, in this invention, it is desirable that the content of the element P in the thickness from said interface to 40nm is below 15 mass % above 8 mass %.

[0019] Moreover, as for the content of said element P, in this invention, it is desirable that it is below 15 mass % above 10 mass %, and the content of said element P is below 15 mass % more preferably above 11 mass %.

[0020] If it is within the limits of the above, while being able to suppress crystallization by the epitaxial growth of Element nickel more and being able to raise the corrosion resistance of said gap layer further, it is possible to manufacture the magnetic-recording component which can promote more nonmagnetic-ization near the interface of said gap layer, and has a good recording characteristic.

[0021] Moreover, as for the content of the element P which the whole thickness of said gap layer averaged in this invention, it is desirable that it is below 15 mass % above 11 mass %.

[0022] Corrosion resistance improvement in said whole gap layer can be aimed at from said interface by regulating preferably at least 10nm of average contents of the element P of the whole thickness of not only the inside of thickness of 40nm but said gap layer within the limits of the above, and nonmagnetic-ization of said whole gap layer can be promoted, and a leakage field can be generated certainly [ near / said / the gap layer ].

[0023] In addition, measurement of the content of the above-mentioned element P was performed using the X-rays spectroscopic analyzer. Since only the value with the relative content of Element P was acquired only with the X-rays spectroscopic analyzer, the content of the element P obtained from said X-rays spectroscopic analyzer by wet analysis was amended, and the absolute value was obtained. It is the content of the element P of this invention which it described above.

[0024] Moreover, about the distance from an interface with a lower magnetic pole layer or a lower core layer, it measured using the transmission electron microscope (TEM).

[0025] Moreover, this invention is set to the manufacture approach of a magnetic-recording component of having a lower core layer made from a magnetic material, and the up core layer made from a magnetic material which counters through a gap layer on said lower core layer by the opposed face with a record medium. (a) Process which carries out plating formation of said lower core layer (b) On said lower core layer, direct, Or the process which carries out plating formation of the nonmagnetic gap layer which used nickel as the principal component on this lower magnetic pole layer with electric plating using pulse current after carrying out plating formation of the lower magnetic pole layer on said lower core layer, (c) It is characterized by having the process which carries out plating formation of the up core layer through a direct or up magnetic pole layer on said gap layer.

[0026] Although plating formation of the gap layer was carried out in the former with electric plating which used a direct current as already explained, a bias occurs that it is this approach in distribution of current density, and a current flows continuously intensively to a certain plating side. And according to the bias of such current distribution, nickel crystallizes with epitaxial growth near an interface with said lower magnetic pole layer or a lower core layer. By this, the content of the nonmagnetic elements (for example, element P etc.) near [ said ] an interface fell rapidly, and the corrosion resistance of this part and nonmagnetic-ization fell.

[0027] So, in this invention, we decided to replace with a direct current and to use electric plating using pulse current.

[0028] That is, ON/OFF of a current controlling element is repeated and the time amount which passes a current at the time of plating formation, and the blank time amount which does not pass a current are established. Thus, by establishing the time amount which does not pass a current, it becomes possible to compare, when a direct current is used like before, and to ease the bias of distribution of the current density at the time of plating formation, and it forms a gap layer little by little.

[0029] It becomes possible to carry out plating growth near [ said ] an interface by this, crystallization by the epitaxial growth of nickel being controlled and using a nonmagnetic element as an optimum dose \*\*\*\* amorphous condition near [ said ] an interface. Therefore, the gap layer excellent in corrosion resistance and smooth nature can be formed, and nonmagnetic-ization in near [ said ] an interface can be promoted.

[0030] Moreover, after carrying out plating formation of said gap layer to predetermined thickness in the aforementioned (b) process in this invention, using the pulse current which has predetermined current density in the beginning, it is desirable to carry out plating formation of the remaining gap layers using the pulse current which has current density higher than said predetermined current density.

[0031] crystallization by the epitaxial growth of nickel is controlled as mentioned above by making current density small in the plating formation from the beginning, i.e., an interface, and making plating growth late, and it is optimum dose \*\*\*\* about a nonmagnetic element — it can consider as an amorphous condition. Then, plating growth is sped up by raising current density, and it enables it to form the gap stratification for a short time. In the phase which raises current density, since it is already made amorphous and plating growth is carried out while the gap layer which raises and forms current density on it also contains the nonmagnetic element of optimum dose, it is made amorphous and plating growth of the gap layer which made current density small and formed it is carried out. For this reason, said whole gap layer can be made into the amorphous condition that an optimum dose nonmagnetic element is included, in this invention.

[0032] Moreover, it is desirable to make said predetermined current density into two or less 3.0 mA/cm by two or more 1.5 mA/cm, and to carry out plating formation of said gap layer to the first 10nm thickness in this invention, using the pulse current which has this current density.

[0033] Moreover, it is more desirable in carrying out plating formation of said gap layer to the first 40nm thickness in this invention.

[0034] Near an interface, plating growth of the gap layer is slowly carried out to it being numeric-value within the limits of the above-mentioned current density, the nonmagnetic element makes the optimum dose close amorphous in the film, and crystallization by the epitaxial growth of Element nickel can be controlled appropriately. In addition, a plating growth rate is too slow in it being a small value, and said gap layer is hard coming to carry out plating growth and is not more desirable than the above-mentioned current density. Moreover, plating growth is too quick in it being a large value, a nonmagnetic element is hard coming to enter into the film, and Element nickel crystallizes and is not more desirable than the above-mentioned current density.

[0035] In addition, if it is above-mentioned numeric-value within the limits when carrying out plating formation of said gap layer by NiP, the content of the element P in the first 10nm thickness can be set below to 15 mass % above 8 mass %. Or the element P in the first 40nm thickness can be preferably set below to 15 mass % above 8 mass %.

[0036] Moreover, it is desirable to carry out plating formation of said remaining gap layers in this invention using the pulse current which has two or less 11.0 mA/cm current density by two or more 8.5 mA/cm. Plating growth is sped up by raising the current density at the time of plating formation of said remaining gap layers rather than the beginning, and a gap layer can be formed in a short time. Moreover, according to it, since the gap layer currently formed in the bottom of it is made amorphous even if it carries out plating formation by the pulse current which has the high current density of the above [ said remaining gap layers ], said remaining gap layers can be formed, where [ amorphous ] the nonmagnetic element of optimum dose is included. Moreover, when forming said gap layer by NiP, the content which the element P of the whole thickness of a gap layer averaged can be set below to 15 mass % above 11 mass %.

[0037] In addition, by this invention, plating formation of said gap layer can be carried out by any one sort of nickel-P, nickel-W, nickel-P-Mo, and nickel-P-W.

[0038] That is, it is possible to carry out plating formation of the gap layer which can control crystallization by the epitaxial growth of the element nickel near an interface, is excellent in electric plating using the above-mentioned pulse current at corrosion resistance and smooth nature even when it is not restricted to NiP but nickel-W etc. is used, and can promote nonmagnetic-ization.

[0039]

[Embodiment of the Invention] The partial front view showing the structure of a magnetic-recording component [ in / in drawing 1 / this invention ] (thin film magnetic head), the elements on larger scale to which drawing 2 expanded the magnetic pole section, and drawing 3 are the fragmentary sectional views which cut the thin film magnetic head shown in drawing 1 from three to 3 line, and were seen from the arrow head.

[0040] Although the thin film magnetic head shown in drawing 1 is an inductive head for record, in this invention, the laminating of the head for playback (MR head using AMR, so-called GMR, so-called TMR, etc.) which used the magneto-resistive effect for the bottom of this inductive head may be carried out.

[0041] The sign 20 shown in drawing 1 is the lower core layer formed with magnetic materials, such as a permalloy. In addition, when the laminating of the head for playback is carried out to said lower core layer 20 bottom, the shielding layer which protects a magneto-resistive effect component from a noise may be prepared separately [ said lower core layer 20 ], said shielding layer may not be prepared, but said lower core layer 20 may be operated as an up shielding layer of said head for playback.

[0042] As shown in drawing 1, an insulating layer 23 is formed in the both sides of said lower core layer 20. Moreover, as shown in drawing 1, the inclined planes 20b and 20b which incline in the direction which top-face 20a of the lower core layer 20 prolonged from the end face of the lower magnetic pole layer 21 may be extended and

formed in the direction parallel to the track cross direction (the direction of graphic display X), or separates from said up core layer 26 may be formed. Generating of side fringing can be more appropriately reduced by inclined planes 20b and 20b being formed in the top face of said lower core layer 20.

[0043] As shown in drawing 1, the magnetic pole section 24 is formed on said lower core layer 20, and exposure formation of said magnetic pole section 24 is carried out at the opposed face with a record medium. If said magnetic pole section 24 was formed with the width of recording track  $T_w$  and it says in this example, it will be a width-of-recording-track specification part. As for said width of recording track  $T_w$ , being formed by 0.7 micrometers or less is desirable, and it is 0.5 micrometers or less more preferably.

[0044] Said magnetic pole section 24 is constituted from the laminated structure of three layer membranes of the lower magnetic pole layer 21, the gap layer 22, and the up magnetic pole layer 35 by the example shown in drawing 1. Hereafter, said magnetic pole layers 21 and 35 and the gap layer 22 are explained.

[0045] As shown in drawing 1, on said lower core layer 20, plating formation of the lower magnetic pole layer 21 used as the lowest layer of the magnetic pole section 24 is carried out through the plating substrate layer 25 (refer to drawing 3). Said lower magnetic pole layer 21 may be magnetically connected with the lower core layer 20, and whichever is [ said lower magnetic pole layer 21 may be formed with construction material which is different also with the same construction material as said lower core layer 20, or ] sufficient as it. Moreover, monolayer may also be formed by the multilayer or whichever is sufficient. In addition, the height dimension of said lower magnetic pole layer 21 is formed by about 0.3 micrometers.

[0046] On said lower magnetic pole layer 21, the laminating of the nonmagnetic gap layer 22 is carried out. In this invention, said gap layer 22 is formed with a non-magnetic metal ingredient, and plating formation is carried out on the lower magnetic pole layer 21. In addition, the height dimension of said gap layer 22 is formed by about 0.2 micrometers.

[0047] Next, on said gap layer 22, plating formation of the up magnetic pole layer 35 which connects with the up core layer 26 mentioned later magnetically is carried out. In addition, said up magnetic pole layer 35 may be formed with the same construction material as the up core layer 26, and may be formed with different construction material. Moreover, monolayer may also be formed by the multilayer or whichever is sufficient. In addition, the height dimension of said up magnetic pole layer 35 is formed by 2.4 micrometers – about 2.7 micrometers.

[0048] If plating formation of the gap layer 22 is carried out by NiP which is a metallic material as described above, it will become possible to carry out plating formation of the lower magnetic pole layer 21, the gap layer 22, and the up magnetic pole layer 35 continuously.

[0049] In addition, in this invention, said magnetic pole section 24 is not restricted to the laminated structure of the three above-mentioned layer membrane. Said magnetic pole section 24 may be formed by the two-layer film which consists of a gap layer 22 and an up magnetic pole layer 35.

[0050] As described above, moreover, the lower magnetic pole layer 21 and the up magnetic pole layer 35 which constitute the magnetic pole section 24 Although it may be formed with construction material which is different also with the construction material as the core layer connected magnetically with each same magnetic pole layer or whichever is sufficient, in order to raise recording density As for the lower magnetic pole layer 21 and the up magnetic pole layer 35 which counter the gap layer 22, it is desirable to have saturation magnetic flux density with each magnetic pole layer higher than the saturation magnetic flux density of the core layer connected magnetically. Thus, by having saturation magnetic flux density with high lower magnetic pole layer 21 and up magnetic pole layer 35, a record field is centralized near the gap and it becomes possible to raise recording density.

[0051] By the way, as plating formation of said gap layer 22 is carried out by NiP and this invention is shown in drawing 2, the content of the element P in the thickness H1 from an interface with said lower magnetic pole layer 21 to 10nm is set below to 15 mass % above 8 mass %. The content of the element P in the thickness H1 to 40nm is preferably set below to 15 mass % above 8 mass %.

[0052] As shown in drawing 2, an interface with said lower magnetic pole layer 21 is graduated, and, moreover, the element P of the above-mentioned content will be amorphous included within said thickness H1 by said gap layer 22.

[0053] Thus, it is that plating formation is carried out where [ amorphous ] the content of Element P increased conventionally near the interface and a proper quantity of the element P is included in this invention, and it is possible to raise the corrosion resistance of the gap layer 22 near [ said ] an interface and smooth nature. Therefore, in this invention, even if put to the neutrality and the alkaline cleaning agent which are used at the washing process of slider processing etc., said gap layer 22 is not eaten away and a crack (refer to drawing 15) like before does not go into said gap layer 22.

[0054] Moreover, nonmagnetic-ization in this part can be promoted by the element P of optimum dose being contained near [ said ] the interface of said gap layer 22. Although gap length  $G_l$  is determined by the thickness of said gap layer 22, it is that near the interface of said gap layer 22 is appropriately made nonmagnetic, and it is possible to store said gap length  $G_l$  in a predetermined value.

[0055] Therefore, it is possible to manufacture the thin film magnetic head which keeps good recording characteristics, such as the over-writing property of the thin film magnetic head, and moreover has a predetermined recording characteristic in this invention with the sufficient yield.

[0056] In addition, the X-rays spectroscopic analyzer performed measurement of the content of the above-mentioned element P. However, since the content of the element P by the X-rays spectroscopic analyzer is measured as a relative value, in order to amend this for an absolute value, wet analysis was performed after



measurement by said X-rays spectroscopic analyzer. It is the value which the content of the element P measured by this described above.

[0057] Moreover, about the distance from said interface, it measured using the transmission electron microscope (TEM).

[0058] Moreover, in this invention, it is preferably desirable from said interface to 10nm that the content of the element P in the 40nm thickness H1 is below 15 mass % above 10 mass %. Moreover, as for the content of said element P, it is more desirable that it is below 15 mass % above 11 mass %.

[0059] If it is within the limits of the above, crystallization of nickel within thickness H1 can be controlled from the interface of the gap layer 22 formed by said NiP film, amorphous-ization can be promoted more, and improvement in corrosion resistance and smooth nature and a pan can be made to promote nonmagnetic-ization more. Therefore, the thin film magnetic head which nonconformities, such as a crack, did not occur near the interface of said gap layer 22, and was excellent in the recording characteristic can be manufactured.

[0060] Moreover, as for the content of the element P which the whole thickness of said gap layer 22 averaged in this invention, it is desirable that it is below 15 mass % above 11 mass %. Thus, by containing the element P described above by the whole thickness of the gap layer 22, the corrosion resistance of the whole thickness of said gap layer 22 can be raised, and, moreover, nonmagnetic-ization can be promoted. Therefore, while being able to protect said gap layer 22 whole from pervasion by a penetrant remover etc. appropriately, a leakage field can be generated certainly [ near / said / the gap ].

[0061] Next, in this invention, it is formed with the linear dimension L1 like drawing 3, magnetic pole applying [ said / 24 ] it in the height direction (the direction of graphic display Y) from an opposed face (ABS side) with a record medium. Between said magnetic pole sections 24 and lower core layers 20, Gd arrangement layer 27 formed by the organic insulating material etc. is formed. In addition, the distance from the head of said Gd arrangement layer 27 to an opposed face with a record medium is formed by L2, and this distance L2 is a gap depth (Gd).

[0062] Moreover, as shown in drawing 3, it is behind the height direction (the direction of graphic display Y) of said magnetic pole section 24, and winding formation of the coil layer 29 is spirally carried out through the insulating substrate layer 28 on the lower core layer 20. As for said insulating substrate layer 28, it is desirable to be formed by the insulating material which consists of at least one sort in AlO, aluminum 2O3, SiO2 and Ta 2O5, TiO and AlN, AlSiN, TiN and SiN, Si3N4, NiO, WO, WO3, BN and CrN, and SiON.

[0063] further — said coil layer 29 — each — a conductor — it is buried by the insulating layer 30 between the pitches of the section. As for said insulating layer 30, it is desirable to be chosen from at least one sort in AlO, aluminum 2O3, SiO2 and Ta 2O5, TiO and AlN, AlSiN, TiN and SiN, Si3N4, NiO, WO, WO3, BN and CrN, and SiON.

[0064] As said insulating layer 30 is shown in drawing 1, it is formed in the both sides of the truck cross direction (the direction of graphic display X) of said magnetic pole section 24, and exposure formation of said insulating layer 30 is carried out at the opposed face with a record medium.

[0065] As shown in drawing 3, on said insulating layer 30, winding formation of the 2nd coil layer 33 is carried out spirally.

[0066] As shown in drawing 3, said 2nd coil layer 33 is covered with the insulating layer 32 formed with organic materials, such as a resist and polyimide, and pattern formation of the up core layer 26 formed with the NiFe alloy, etc. is carried out for example, by frame plating etc. on said insulating layer 32.

[0067] Moreover, as shown in drawing 3, on said up magnetic pole layer 35, it connects magnetically and point 26a of said up core layer 26 is formed, end face section 26b of said up core layer 26 was formed with magnetic materials, such as a NiFe alloy, on the lower core layer 20, is raised, and on the layer 36, it connects magnetically, and it is formed. in addition — said — it raises, and the layer 36 does not need to be formed and direct continuations of the end face section 26b of said up core layer 26 will be carried out on the lower core layer 20 in this case. Said up core layer 26 top is covered with the protective layer 34 of aluminum 2O3 grade.

[0068] Moreover, as shown in drawing 1, it turns out that the width method of the up core layer 26 in the edge (2600) joined on said up magnetic pole layer 35 is larger than the width method of the truck cross direction of said up magnetic pole layer 35. Thereby, the magnetic flux from said up core layer 26 can be efficiently passed in said up magnetic pole layer 35, and improvement in a recording characteristic can be aimed at.

[0069] Drawing 4 is drawing of longitudinal section of the thin film magnetic head of the gestalt of another operation of this invention. In addition, the end face on the left-hand side of [ graphic display ] the thin film magnetic head, shown in drawing 4 is an opposed face with a record medium.

[0070] With the gestalt of this operation, plating formation of the gap layer 41 which consists of a non-magnetic metal ingredient on the lower core layer 40 is carried out on the lower core layer 40.

[0071] In this invention, as a non-magnetic metal ingredient, NiP is chosen and the content of the element P within 40nm thickness is preferably set from the interface with said lower core layer 40 below to 15 mass % within 10nm thickness above 8 mass %. It is below 15 mass % preferably above 10 mass %, and is below 15 mass % more preferably above 11 mass %.

[0072] Within 10nm thickness, crystallization by the epitaxial growth of Element nickel can be controlled from an interface with said lower core layer 40 by this, and it is in the amorphous condition of having contained the element P of above-mentioned numeric-value within the limits. For this reason, the corrosion resistance in said interface and smooth nature can be raised, pervasion by the penetrant remover in a slider production process etc. can be avoided, and generating of the crack near the interface of said gap layer 41 etc. can be controlled like before. Moreover, since nonmagnetic-ization near [ said ] an interface can be appropriately promoted if it is the gap layer 41

containing the above-mentioned element P, gap length G1 is able to manufacture the thin film magnetic head which is fixed magnitude with the sufficient yield.

[0073] Moreover, while it can be desirable that it is below 15 mass % above 11 mass % as for the content of the element P which the whole thickness of said gap layer 41 averaged, and the whole thickness of the gap layer 41 can change into the amorphous condition that the element P of optimum dose was included, by this and it can raise corrosion resistance, a leakage field can be generated certainly [ near the gap ].

[0074] In addition, it was as drawing 1 having explained the measuring method of the content of said element P, and the content further measured with said X-rays spectroscopic analyzer by wet analysis is amended using an X-rays spectroscopic analyzer, and it is made the absolute value, and measured using the transmission electron microscope about the distance from said interface.

[0075] In drawing 4, the coil layer 43 by which pattern formation was carried out so that it might become spiral superficially through the insulating layer 42 made from polyimide or a resist ingredient is formed on said gap layer 41. In addition, said coil layer 43 is formed with the nonmagnetic conductivity ingredient with small electric resistance, such as Cu (copper).

[0076] Furthermore, said coil layer 43 is surrounded by the insulating layer 44 formed with polyimide or a resist ingredient, and the up core layer 45 made from soft magnetic materials is formed on the insulating layer 44.

[0077] As shown in drawing 4, in the opposed face with a record medium, it counters through the gap layer 41 on the lower core layer 40, as for point 45a of the up core layer 45, gap length's G11 magnetic gap is formed, and end face section 45b of the up core layer 45 is magnetically connected with the lower core layer 40.

[0078] Moreover, although the high thing of the saturation magnetic flux density Ms of the lower core layer 40 is desirable, if flux reversal of the leak field between the lower core layer 40 and the up core layer 45 is made easy to carry out by making it lower than the saturation magnetic flux density Ms of the up core layer 45, the write-in consistency of the signal to a record medium can be made high more.

[0079] Next, it explains, referring to a drawing about the manufacture approach of the thin film magnetic head of the same configuration as drawing 1.

[0080] In drawing 5, spreading formation of the resist layer 51 is carried out on the lower core layer 20. The thickness dimension H3 of said resist layer 51 must be formed more thickly than the thickness dimension of the magnetic pole section 24 in the completed thin film magnetic head which is shown in drawing 1 at least.

[0081] Next, from an opposed face with a record medium, in the height direction (the direction of graphic display Y), it is a predetermined linear dimension, and slot 51a formed by the predetermined width method crosswise [ truck ] (the direction of graphic display X) is formed, and the magnetic pole section 24 is formed in slot 51a by exposure development at the resist layer 51.

[0082] As shown in drawing 5, the lower magnetic pole layer 21, the gap layer 22, and the up magnetic pole layer 35 constitute the magnetic pole section 24 from the bottom, and plating formation of the plating substrate layer 25 is continuously carried out for these each class as a substrate. It is possible for this to attain simplification of a production process.

[0083] In this invention, plating formation of said gap layer 22 is carried out with electric plating which used pulse current. Said gap layer 22 is formed by the non-magnetic material which used nickel as the principal component.

[0084] It is desirable to repeat ON/OFF in several second cycle and to set the duty ratio at that time about to 0.1 to 0.5 in this invention. For example, ON/OFF is repeated in a 0.5-second cycle.

[0085] According to electric plating using pulse current, the time amount which passes a current at the time of plating formation of the gap layer 22, and the blank time amount which does not pass a current can be established as mentioned above. Thus, it is possible to compare by establishing the time amount which does not pass a current, when a direct current is used like before, and to ease the bias of distribution of the current density at the time of plating formation. And plating formation of said gap layer 22 can be carried out little by little.

[0086] Thus, since the bias of distribution of the current density at the time of plating formation can be reduced with electric plating using pulse current, in the gap layer 22 by which plating formation was carried out near the interface with said lower magnetic pole layer 21, Element nickel is not crystallizing with epitaxial growth like before. By this invention, where [ amorphous ] many nonmagnetic elements are contained compared with the former, plating formation of said gap layer 22 near [ said ] an interface can be carried out.

[0087] Thus, near the interface of said gap layer 22, it is possible to raise the corrosion resistance of said gap layer 22 near [ said ] an interface and smooth nature by being in the amorphous condition that the nonmagnetic element was included in optimum dose. Moreover, nonmagnetic-ization near [ said ] an interface can be promoted.

[0088] Moreover, after carrying out plating formation of said gap layer 22 to predetermined thickness in this invention using the pulse current which has predetermined current density in the beginning, it is desirable to carry out plating formation of the remaining gap layers 22 using the pulse current which has current density higher than said predetermined current density.

[0089] Plating formation of the initial stage of said gap layer 22 changes into the amorphous condition that many elements P were included, by this, and crystallization by the epitaxial growth of said element nickel can be controlled. For this reason, near the interface of said gap layer 22 and the lower magnetic pole layer 21, the corrosion resistance of said gap layer 22 and smooth nature can be raised, and nonmagnetic-ization can be promoted.

[0090] Moreover, after carrying out plating formation of said gap layer 22 to predetermined thickness using the pulse current which has predetermined current density, plating formation of said remaining gap layers 22 can be quickly

carried out by carrying out plating formation of the remaining gap layers 22 according to the pulse current which has current density higher than said predetermined current density, and it becomes possible to form plating formation of said gap layer 22 for a short time. In addition, by being in the amorphous condition that the nonmagnetic element was included in optimum dose, the gap layer 22 by which plating formation was already carried out by the initial stage can carry out plating formation, after [ amorphous ] said remaining gap layers 22 have also contained the nonmagnetic element in optimum dose according to it. That is, according to this invention, it is possible to form said gap layer 22 whole, where [ amorphous ] a nonmagnetic element is included in optimum dose.

[0091] Moreover, it is desirable to make said predetermined current density into two or less 3.0 mA/cm by two or more 1.5 mA/cm, and to carry out plating formation of said gap layer 22 to the first 10nm thickness in this invention, using the pulse current which has this current density. It is carrying out plating formation of said gap layer 22 to the first 40nm thickness more preferably. At this time, plating formation time amount is about 7 - 15 minutes. Moreover, the duty ratio of ON/OFF is for example, a 0.5-second cycle. Moreover, although a current value must be determined according to said current density, said current value is 70mA or less extent in 40mA or more as an example.

[0092] For example, when NiP is chosen as said gap layer 22, in 10nm thickness, in 40nm thickness, the plating formation of the element P is changed into the amorphous condition of having been contained below 15 mass % above 8 mass %, and it can control crystallization by the epitaxial growth of Element nickel preferably from an interface with the lower magnetic pole layer 21 of said gap layer 22. Therefore, the corrosion resistance of said gap layer 22 within said interface to 40nm thickness and smooth nature can be preferably raised in 10nm thickness from said interface, and nonmagnetic-ization can be promoted.

[0093] In addition, it carries out the plating formation of said gap layer 22 appropriately and is not desirable when current density is smaller than 1.5 mA/cm<sup>2</sup>, and the plating growth rate of said gap layer 22 becomes very slow. Moreover, it causes [ by the interface, crystallization by the epitaxial growth of Element nickel is promoted by a plating growth rate becoming quick rapidly, and / Element P stops going into optimum dose, and ] corrosion resistance lowering and magnetism-izing and is not desirable when said current density is larger than 3.0 mA/cm<sup>2</sup>.

[0094] Moreover, it is desirable to carry out plating formation of said remaining gap layers 22 in this invention, according to the pulse current which has said current density, at two or more 8.5 mA/cm using the pulse current which has two or less 11.0 mA/cm current density, after carrying out plating growth of said gap layer 22 to 10nm or 40nm. The plating formation of said remaining gap layers 22 can be carried out quickly by this, and shortening of the plating formation time amount of said gap layer 22 can be attained. In addition, although plating formation time amount changes with magnitude of thickness to obtain eventually, it is about 8 minutes, for example from 7 minutes. Moreover, the duty ratio of ON/OFF is for example, a 0.5-second cycle. Moreover, although a current value must be determined according to said current density, said current value is 250mA or less extent in 200mA or more as an example.

[0095] Moreover, the content of the element P which the whole thickness of said gap layer 22 averaged by this can be made below into 15 mass % above 11 mass %, and it is possible to promote the corrosion resistance of said gap layer 22 whole and nonmagnetic-ization.

[0096] In addition, the manufacture approach using electric plating by the above-mentioned pulse current is not limited to forming said gap layer 22 by nickel-P. It is possible to carry out plating formation of said gap layer 22 by any one sort of nickel-W, nickel-P-Mo, and nickel-P-W in addition to nickel-P. Plating formation is carried out using electric plating using the pulse current described above also by this case. When this uses said nickel-W, nickel-P-Mo, or nickel-P-W, Element W, Elements P and Mo, or Elements P and W which are nonmagnetic elements can be changed into optimum dose \*\*\*\*\* and an amorphous condition near an interface with said lower magnetic pole layer 22, and the corrosion resistance of said gap layer 22 and smooth nature can be raised, and nonmagnetic-ization can be promoted.

[0097] In addition, electric plating using this pulse current may be used in case plating formation of each magnetic layer, such as the lower core layer 20, the lower magnetic pole layer 21, the up magnetic pole layer 35, and the up core layer 26, is carried out. While big and rough-ization of crystal grain is controlled by this, the top face of each of said magnetic layer is made more into a smooth side. Therefore, the saturation magnetic flux density of each of said magnetic layer can be raised. In addition, it is desirable to carry out plating formation of said lower magnetic pole layer 21 with electric plating using pulse current especially. It is possible to be able to control crystallization by the epitaxial growth of Element nickel more appropriately, to change into the amorphous condition that many nonmagnetic elements were included, in an interface with said lower magnetic pole layer 21 of the gap layer 22, formed on said lower magnetic pole layer 21 by this, and to promote corrosion resistance and nonmagnetic-ization further.

[0098] In addition, the film configuration of the magnetic pole section 24 formed in slot 51a shown in drawing 5 is not restricted to the above-mentioned configuration of three layers. That is, as long as the magnetic pole section 24 consists of gap layers 22 which the up magnetic pole layer 35 which follows the lower magnetic pole layer 21 and/or the up core layer 26 which follow the lower core layer 20 is formed, and are located between magnetic pole layers of the lower core layer [ the up core layer 26 or / either / either / said / which counter this ] 20, or between the lower magnetic pole layer 21 and the up magnetic pole layer 35, it may be what kind of film configuration.

[0099] Next, in drawing 5, said resist layer 51 is removed, a new resist layer is formed, it raises in this resist layer, and extracts for layer 36 formation, and a pattern is formed. And it raises in the aforementioned omission pattern and a layer 36 is formed (refer to drawing 6).

[0100] next — the process shown in drawing 7 — the lower core layer from the magnetic pole section 24 — 20 top, it raises further, it applies in the height direction from a layer 36, and spatter formation of the insulating substrate layer 28 formed by the insulating material is carried out.

[0101] And as shown in drawing 7, pattern formation of the coil layer 29 is spirally carried out on the insulating substrate layer 28.

[0102] Next, at the process shown in drawing 8, it is a wrap by the insulating layer 30 about the coil layer 29 top. At this time, it reaches on the magnetic pole section 24, and raises, and a layer 36 top is also covered with an insulating layer 30.

[0103] In addition, with the gestalt of this operation, spatter formation of the insulating layer 30 is carried out with an inorganic material. It is desirable to choose one sort or two sorts or more as said inorganic material from from aluminum  $2O_3$  and among SiN and  $SiO_2$ .

[0104] And as shown in drawing 8, the front face of an insulating layer 30 is ground using a CMP technique etc., and it deletes on the B-B line which the front face of the magnetic pole section 24 exposes. Drawing 9 shows the condition.

[0105] Moreover, by the above-mentioned CMP method, on the same flat surface as plane-of-composition 24a of the magnetic pole section 24, flattening of the front face of an insulating layer 30 is carried out, and it is formed.

[0106] Next, as shown in drawing 10, pattern formation of the 2nd coil layer 33 is spirally carried out on an insulating layer 30. The layer [ 1st ] coil layer 29 and the 2nd coil layer 33 are electrically connected through each volume core. Furthermore, pattern formation of the up core layer 26 is carried out by the existing approaches, such as frame plating, on a bonnet and an insulating layer 32 by the insulating layer 32 formed by organic insulating materials, such as a resist and polyimide, in the 2nd coil layer 33.

[0107] As shown in drawing 10, the up core layer 26 was formed in contact with the magnetic pole section 24 top in the point 26a, and was formed on the lower core layer 20 in end face section 26b, is raised, on a layer 36, touches magnetically and is formed.

[0108]

[Example] In this invention, plating formation of the gap layer was carried out with electric plating which used pulse current as an example, plating formation of the gap layer was carried out with electric plating using a direct current as an example of a comparison, and the transmission electron microscope (TEM) investigated the surface state of each gap layer.

[0109] In the example, plating formation of the NiFe alloy which serves as the lower magnetic pole layer 21 as the lowest layer was carried out with electric plating using pulse current. Fe was 70 mass % and the remainder of the presentation ratio of said NiFe was nickel mass %. In addition, plating formation of said lower magnetic pole layer was carried out using 4000mA pulse current.

[0110] Next, plating formation of the gap layer 22 which turns into said lower magnetic pole layer 21 from NiP was carried out with electric plating by pulse current. In addition, for the nickel sulfate, 100 g/l and a nickel chloride were [ 30 g/l and the sodium hydrogenphosphite of the plating bath presentation ] 30 g/l.

[0111] First, plating formation of said gap layer was carried out for 10 minutes using 50mA pulse current. The current density of said pulse current was 2.2 mA/cm<sup>2</sup>. Moreover, the duty ratio of ON/OFF was a 0.5-second cycle. Moreover, the thickness of said gap layer was set to 40nm at this time.

[0112] Next, plating formation of the remaining gap layers was carried out for [ 7 minutes - ] 8 minutes using 250mA pulse current. The current density of said pulse current was 10.9 mA/cm<sup>2</sup>. Moreover, the duty ratio of ON/OFF was a 0.5-second cycle. Moreover, the thickness of said whole gap layer in the event of ending this plating formation was set to 200nm.

[0113] Next, plating formation of the up magnetic pole layer which consists of NiFe on said gap layer was carried out with electric plating using 4000mA pulse current. Fe was 70 mass % and the remainder of the NiFe presentation of said up magnetic pole layer was mass [ of nickel ] %.

[0114] Next, in the example of a comparison, plating formation of the lower magnetic pole layer of NiFe used as the lowest layer was carried out with electric plating using 4000mA pulse current. Fe was 70 mass % and the remainder of the NiFe presentation of said lower magnetic pole layer was mass [ of nickel ] %.

[0115] Next, plating formation of the gap layer which turns into said lower magnetic pole layer from NiP was carried out with electric plating using a 70mA direct current. In addition, the plating bath presentation at this time is the same as the time of the above-mentioned example. Furthermore, plating formation of the up magnetic pole layer which consists of NiFe was carried out with electric plating using 4000mA pulse voltaism on said gap layer.

[0116] The photograph which took the photograph taken with the transmission electron microscope of an example with the transmission electron microscope of the example of a comparison to drawing 11 is shown in drawing 12.

[0117] In the example shown in drawing 11, the interface of said gap layer and a lower magnetic pole layer is graduated, and it turns out that there is no spot which is looked at by an up magnetic pole layer and the lower magnetic pole layer and which becomes blackish at said gap layer. The spot which is looked at by said up magnetic pole layer and the lower magnetic pole layer and which becomes blackish is a crystal. That is, in the example, it can be admitted that there is no part crystallized by said gap layer, and it is in an amorphous condition on the whole.

[0118] On the other hand, in the case of the example of a comparison, the interface of said lower magnetic pole layer and gap layer has severe \*\*\*\*\*, and the spot which becomes blackish is looked at by said gap layer near [ said ] an interface. It is admitted that this is the part which the element nickel which constitutes said gap layer grew in epitaxial, and crystallized.

[0119] In the case of electric plating using pulse current, compared with the case where a direct current is used, it turns out especially that the gap layer in an interface with a lower magnetic pole layer can be formed in an amorphous condition, and nickel crystallization can be controlled as mentioned above.

[0120] Next, in this invention, it investigated using the film configuration of an example in which plating formation was carried out by the above-mentioned pulse current, and the film configuration of the example of a comparison in which plating formation was carried out by the direct current about the relation between the distance from an interface with the lower magnetic pole layer of said gap layer, and the content of Element P. About the distance from said interface, it measured using the transmission electron microscope, and carried out about the content of Element P using the X-rays spectroscopic analyzer (it amends by wet analysis). The experimental result is shown in drawing 13.

[0121] As shown in drawing 13, in the example of a comparison, it turns out from an interface to about 2.5nm that the content of Element P is below 8 mass % very low. On the other hand, the content of Element P is more than 8 mass %, and is [ in / at an example / said interface to 10nm any ] the same also within 40nm thickness from said interface. Thus, in the example, it turns out that the content of the element P in an interface can be made [ many ] [ the example of a comparison / especially ]. In addition, in an example, the plating formation from an interface to 40nm sets 2.2mA / of current density to 2 cm, and is performed for 10 minutes.

[0122] Moreover, if about 2.5nm is exceeded from an interface in the case of the example of a comparison, the content of Element P will exceed 8 mass %, but as shown in a graph, the upper limit is at most 12 mass %, and the content of said element P is not necessarily kept from an interface so constant that it becomes deep, and it understands that fluctuation of said content is sharp for it.

[0123] In the case of an example, regardless of the depth from an interface, it turns out to it that the content of said element P is kept almost constant. In addition, in this example, the content of the averaged element P in the whole thickness is about 13 mass %, and, as for the content of said element P, it is desirable in this invention to be settled within 15 mass % on the average above 11 mass %. If it is this within the limits, while being able to raise the corrosion resistance of said whole gap layer, it is possible to promote nonmagnetic-ization.

[0124] By the way, like the example of a comparison, if Element P is extremely small especially near the interface, as seen to drawing 12 R> 2, crystallization of Element nickel promotes, corrosion resistance is falling, and it is eaten away by neutrality, the penetrant remover of an alkali solution, etc., and has come to burn in this part. Moreover, near [ said ] an interface, it is tinctured with magnetism because there are extremely many contents of Element nickel, and it is thought that near [ said ] an interface is not functioning as a gap layer substantially.

[0125] On the other hand, in the case of an example, in said interface to 10nm thickness, preferably, either of 40nm thickness can promote amorphous-ization near [ said ] an interface, as more than 8 mass % can be secured and it was seen to drawing 11, and Element P can raise corrosion resistance. Moreover, nonmagnetic-ization by said interface can be appropriately promoted by securing Element P more than 8 mass %. Although it was an upper limit here, in this invention, it set up below 15 mass %. This originates in the content in the increase of the amount of element P or NiP by which plating formation was carried out even if carried out under plating bath not exceeding 15 mass %. Moreover, as desirable range, it is below 15 mass % above 10 mass %, and carried out to below 15 mass % as more desirable range above 11 mass %. The corrosion resistance near the interface of a gap layer and nonmagnetic-ization can be more appropriately promoted by this. In addition, it turns out that the above-mentioned desirable range and the more desirable range are filled with the example shown in drawing 13.

[0126] In addition, 40nm of the beginning and 10nm of thickness being two or less 3.0 mA/cm from two or more 1.5 mA/cm preferably in this invention about current density is desirable. In the example shown in drawing 11 and drawing 13, the first current density was 2.2 mA/cm<sup>2</sup>. In addition, although it must adjust so that it may suit within the limits of the above-mentioned current density about the magnitude of a current, this invention can show 70mA or less by 40mA or more as an example, for example.

[0127] Next, as for the current density used when carrying out plating formation of the remaining gap layers, it is desirable that they are two or less 11.0 mA/cm in two or more 8.5 mA/cm. In addition, in the example shown in drawing 11 and drawing 13, said current density when carrying out plating formation of the remaining gap layers was 10.9 mA/cm<sup>2</sup>. Moreover, although it must adjust so that it may suit within the limits of the current density described above about the magnitude of a current also in this case, this invention can show 250mA or less by 200mA or more as an example, for example.

[0128]

[Effect of the Invention] According to this invention explained to the detail above, NiP is used in order to form said gap layer of a magnetic-recording component. By making the content of the element P from an interface with a lower magnetic pole layer or a lower core layer to 10nm below into 15 mass % above 8 mass %, moreover, within 10nm thickness from said interface Since crystallization by the epitaxial growth of Element nickel can be controlled, many elements P can be incorporated and it can change into an amorphous condition. Therefore, the corrosion resistance of said gap layer near an interface can be raised, and even if put to neutrality or an alkali solution, pervasion of said gap layer can be prevented appropriately.

[0129] Moreover, nonmagnetic-ization near an interface can be promoted by the ability of the optimum dose reservation of the content of said element P to be carried out.

[0130] Therefore, in this invention, it excels in a recording characteristic and the magnetic-recording component which moreover has a fixed recording characteristic can be manufactured with the sufficient yield.

[0131] Moreover, by the manufacture approach of this invention, crystallization by the epitaxial growth of the

element nickel near the interface of said gap layer can be controlled by carrying out plating formation of said gap layer with electric plating which used pulse current. Therefore, many nonmagnetic elements, such as Element P, can be incorporated near [ said ] an interface, near [ said ] an interface can be changed into an amorphous condition, and corrosion resistance can be raised.

[0132] In addition, it is desirable to carry out plating formation of said gap layer to predetermined thickness according to pulse current with small current density at first in this invention, and to carry out plating formation with current density bigger next than said current density. While being able to promote the corrosion resistance of said whole gap layer, and nonmagnetic-ization by this, formation time amount of said gap layer can be made quicker.

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

## [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The front view showing the magnetic-recording component (thin film magnetic head) of the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 2] The elements on larger scale which expanded the magnetic pole section,

[Drawing 3] The fragmentary sectional view in three to 3 line of the thin film magnetic head of drawing 1.

[Drawing 4] The fragmentary sectional view showing the magnetic-recording component (thin film magnetic head) of the gestalt of operation of the 2nd of this invention,

[Drawing 5] 1 process drawing showing the manufacture approach of the magnetic-recording component (thin film magnetic head) shown in drawing 1 thru/or drawing 3 of this invention,

[Drawing 6] 1 process drawing carried out to the degree of the process shown in drawing 5,

[Drawing 7] 1 process drawing carried out to the degree of the process shown in drawing 6,

[Drawing 8] 1 process drawing carried out to the degree of the process shown in drawing 7,

[Drawing 9] 1 process drawing carried out to the degree of the process shown in drawing 8,

[Drawing 10] 1 process drawing carried out to the degree of the process shown in drawing 9,

[Drawing 11] The transmission electron microscope photograph of the magnetic pole section of this invention (example) which carried out plating formation of the gap layer with electric plating by pulse current,

[Drawing 12] The transmission electron microscope photograph of the magnetic pole section of the former (example of a comparison) which carried out plating formation of the gap layer with electric plating by the direct current,

[Drawing 13] The graph which shows the relation between the distance from the interface of NiP in the conventional example and the example of a comparison, and the content of Element P,

[Drawing 14] The partial front view showing the structure of the thin film magnetic head in the former,

[Drawing 15] The enlarged drawing of the magnetic pole section for explaining the nonconformity of the thin film magnetic head in the former,

## [Description of Notations]

20 Lower Core Layer

21 Lower Magnetic Pole Layer

22 Gap Layer

26 Up Core Layer

29, 33, 43 Coil layer

35 Up Magnetic Pole Layer

51 Resist Layer

---

[Translation done.]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## \* NOTICES \*

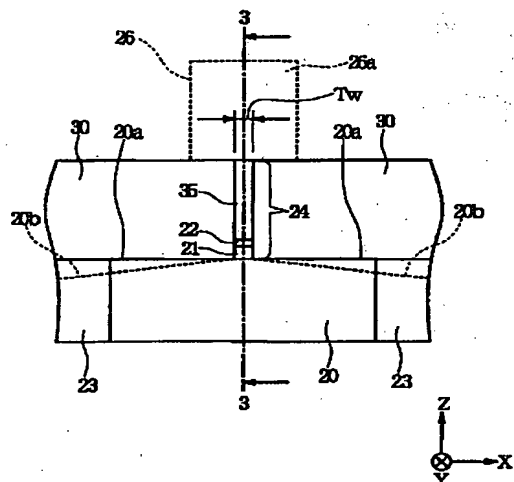
JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

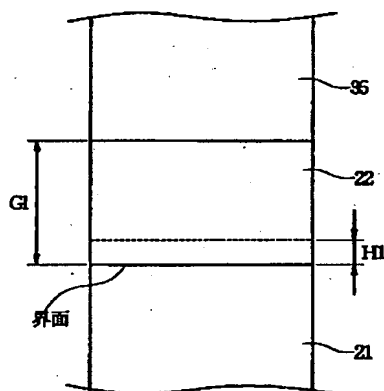
[Drawing 1]

図 1



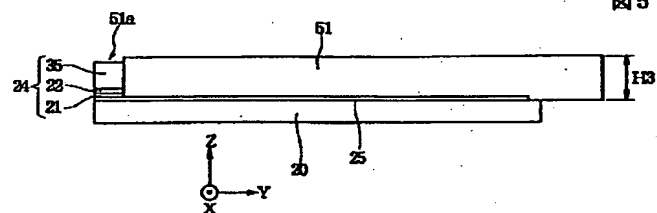
[Drawing 2]

図 2



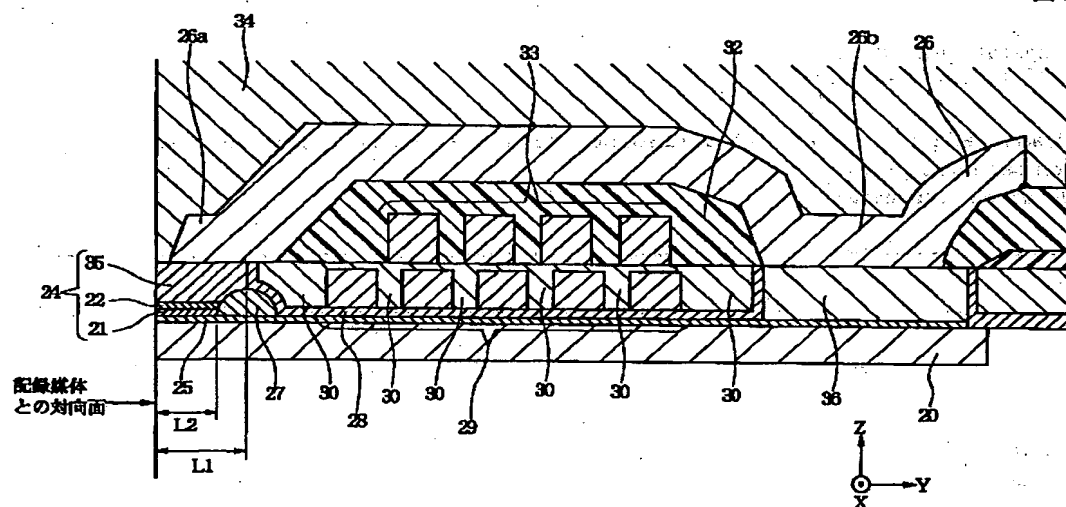
[Drawing 5]

図 5

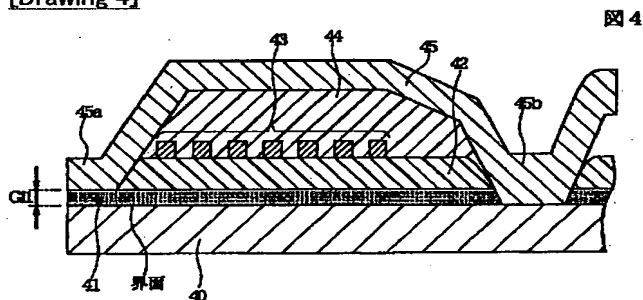


[Drawing 3]

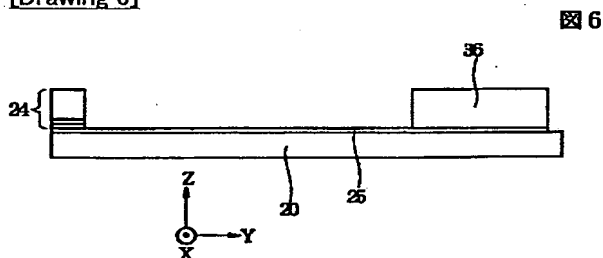
**图 3**



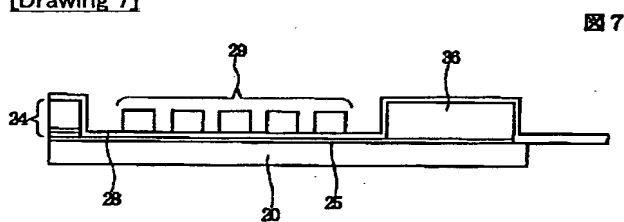
[Drawing 4]



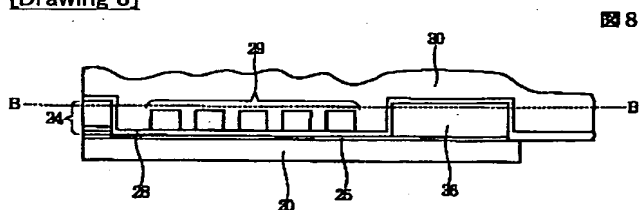
[Drawing 6]



**[Drawing 7]**

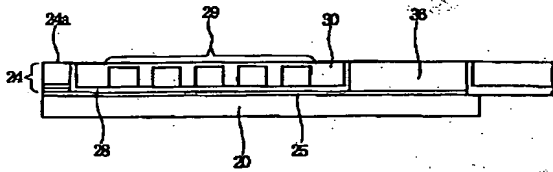


**[Drawing 8]**



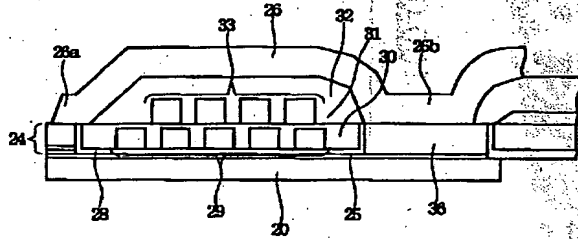
**[Drawing 9]**

図 9



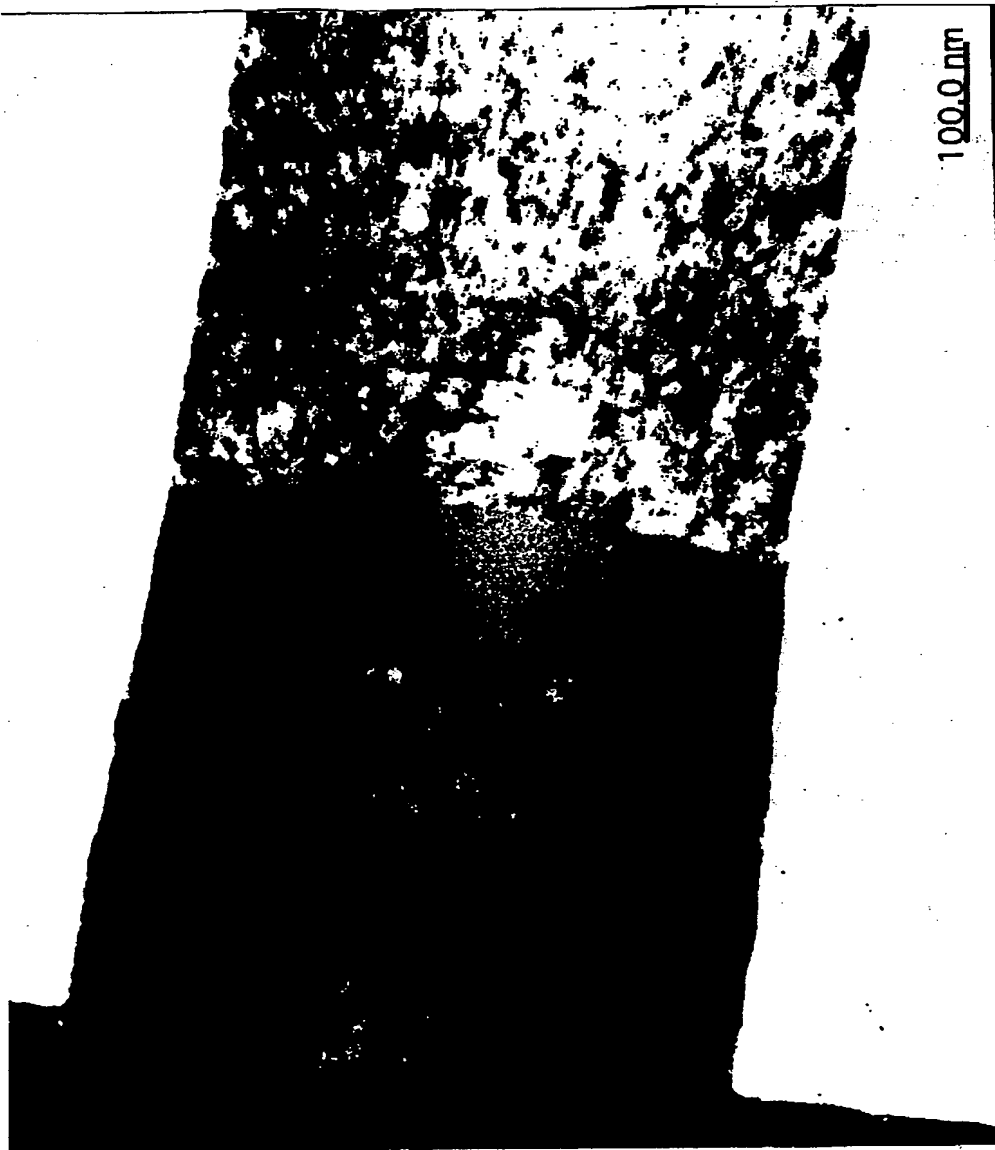
[Drawing 10]

図 10



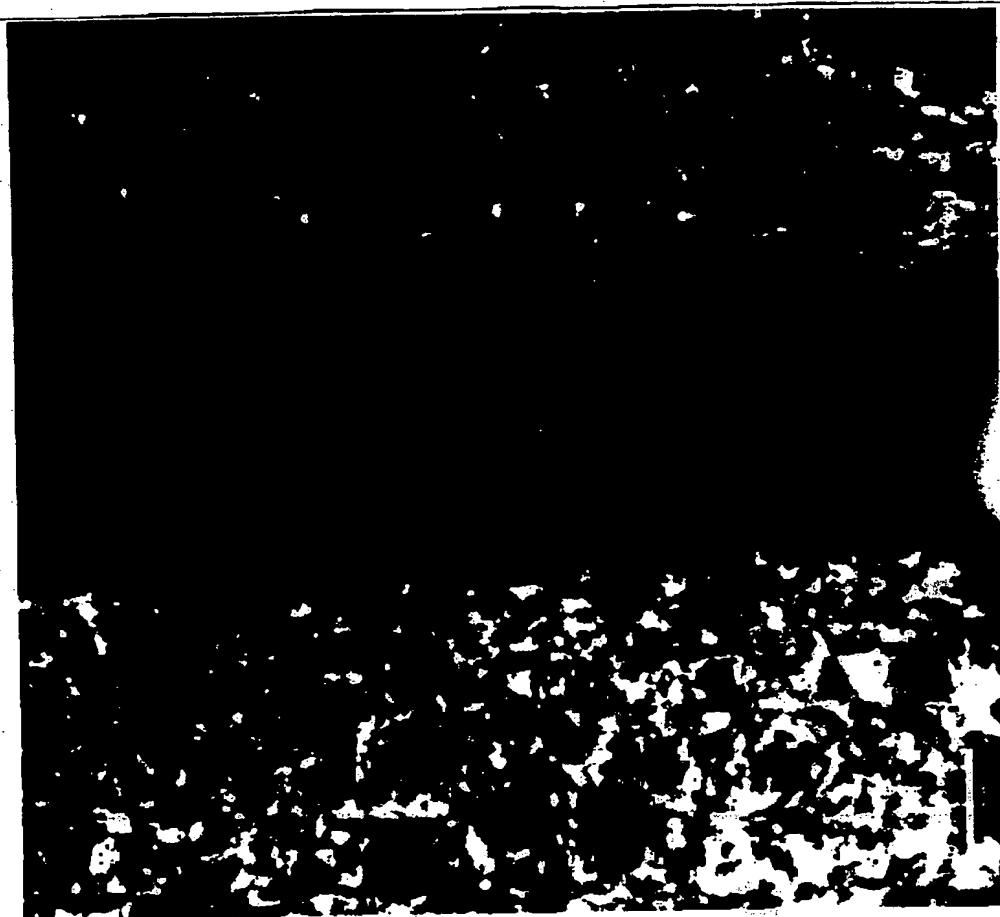
[Drawing 11]

図 11



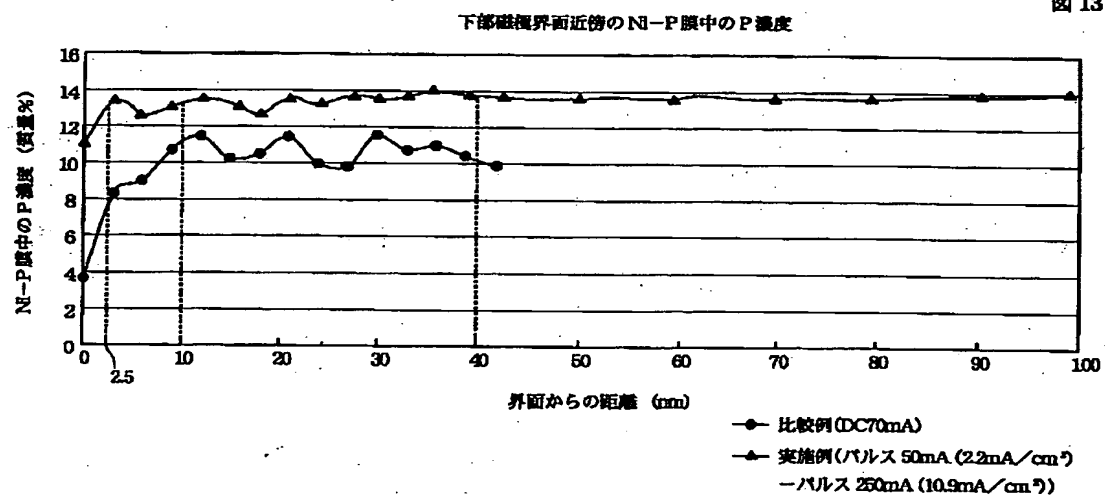
[Drawing 12]

図 12



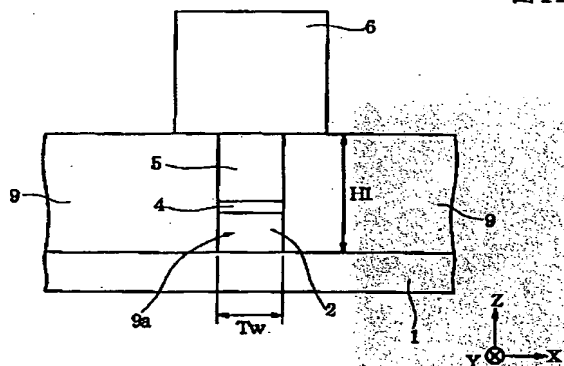
[Drawing 13]

図 13



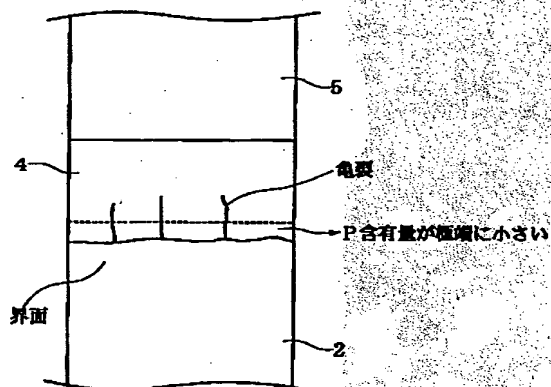
[Drawing 14]

図 14



[Drawing 15]

図 15



[Translation done.]

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**